

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

TRABAJO FINAL DE GRADO
Graduado en Ingeniería de la Hortofruticultura y Jardinería

**Estudio del efecto de la hora de riego sobre el
crecimiento, desarrollo y consumo de agua en *Dianthus
caryophyllus L.* cultivado en maceta**

Francisco Javier VICTORIA ORTEGA

Cartagena, julio 2016



Universidad Politécnica de Cartagena
Departamento de Producción Vegetal
Área de Producción Vegetal

Sebastián del Pilar Bañón Arias, profesor del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Politécnica de Cartagena

INFORMA:

Que el presente Proyecto Fin de Carrera, titulado «Estudio del efecto de la hora de riego sobre el crecimiento, desarrollo y consumo de agua en *Dianthus caryophyllus* L. cultivado en maceta», presentado por Francisco Javier Victoria Ortega, ha sido realizado bajo mi dirección.

Y para que conste, a los efectos oportunos, firmo el presente escrito en Cartagena, 11 de julio de dos mil dieciséis.

Fdo.: Sebastián del Pilar Bañón Arias

ÍNDICE

Resumen e Introducción	1
Resumen	2
Introducción	2
Materiales y Métodos	7
Material vegetal y condiciones de cultivo	8
Sistema de fertirrigación	9
Tratamientos	10
Medida de las condiciones ambientales	10
Medida del contenido de humedad en sustrato	10
Medidas evolutivas del drenaje	11
Medidas de los parámetros hídricos de la planta	11
Medida del crecimiento de la planta	11
Medida evolutiva del intercambio de gases	12
Medida de la temperatura del sustrato	12
Análisis y diseño estadístico	13
Resultados	21
Parámetros hídricos	22
Crecimiento y desarrollo de las plantas	22
Temperatura de sustrato	23
Intercambio gaseoso y potencia hídrica foliar	23
Contenido volumétrico de agua en el sustrato	24
Discusión	33
Riego por la mañana temprano	34
Riego alrededor del mediodía	35
Riego nocturno	37
Conclusiones	39
Referencias	42

RESUMEN E INTRODUCCIÓN

RESUMEN

Un experimento de riego de clavel en maceta bajo invernadero-umbráculo fue diseñado para conocer la influencia de la hora de riego sobre el crecimiento, desarrollo y la eficiencia de la utilización del agua. Las plantas fueron cultivadas entre la primera semana de abril y la última de junio de 2015 y diariamente regadas en cuatro horarios: 7, 11, 16 y 22 horas. Todas las plantas recibieron el mismo volumen de agua que buscaba un porcentaje de drenaje alrededor del 20%. Medidas de crecimiento y desarrollo fueron hechas al final del experimento. La humedad y temperatura del sustrato fueron registradas durante el periodo experimental usando sensores dieléctricos EC5-Decagon y térmicos 107-Decagon conectados a un registrador-programador de datos CR1000-Decagon. La precocidad de la floración fue registrada también. Regar por la mañana temprano redujo la eficiencia del uso de agua respecto al resto de tratamientos. A pesar de que el riego nocturno redujo el drenaje, éste no mejoró la eficiencia del uso del agua aplicada respecto a los tratamientos de riego alrededor del mediodía. Regar por la noche mantuvo un menor contenido volumétrico medio del sustrato y elevó la temperatura del sustrato. Apenas hubo diferencias entre regar a las 11 horas y las 16 horas, y a pesar de no encontrar evidencias claras, podemos sugerir que en este intervalo se situó la hora de riego más propicia de riego. No existe una hora de riego recomendable universal para el riego, y su elección dependerá de las condiciones de cultivo.

INTRODUCCIÓN

La elección de la mejor hora del día para regar es una cuestión que los agricultores y técnicos perciben como importante para optimizar la eficiencia de la aplicación del riego y el crecimiento y desarrollo del cultivo. Algunos investigadores implicados en estudios sobre esta temática demostraron que la hora de riego afecta al crecimiento de las plantas, a la temperatura del sustrato y a la eficiencia en el uso del agua (Warren and Bilderback, 2002).

La hora de riego es más relevante en los cultivos en sustratos (macetas o sacos) que en el suelo porque carecen de la amortiguación térmica e hídrica del suelo. La determinación del mejor momento de riego del día es un tema todavía de debate porque surgen diferentes opiniones fruto también de distintas condiciones de cultivo. Hay numerosas opiniones de agricultores y técnicos que lo mejor es regar por la mañana temprano, aunque también hay bastantes opiniones de que el riego por la tarde es el más adecuado. Algunos autores indican que lo correcto es regar 2-4 horas antes del momento de mayor temperatura del día (Keever and Cobb, 1985). A pesar de que hay menos opiniones a favor de regar por la noche, a veces se ha sugerido como la mejor opción. Otro enfoque sería regar en varios momentos del día, lo que es muy usual en sustratos con baja retención de agua como puede ser la perlita.

Bajo un cultivo arbóreo en suelo, regar por la mañana temprano (cuando todavía hay fresco), permite que el agua se desplace hacia abajo del suelo contactando con las raíces de la planta. Si las condiciones son estivales, se reducirá la pérdida de agua por evaporación, lo que hará que más agua esté disponible a lo largo del día para que las plantas sean capaces de lidiar mejor con el calor del sol. Es decir, las plantas estarán bien hidratadas porque la evaporación se reduce y tendrán todo el día para absorber el agua. Y cuando llegue la noche, el sustrato ya no estará empapado porque la planta ha consumido la mayor parte de agua, las raíces podrán respirar y no propiciaremos desarrollo fúngicos.

En cultivos en sustratos (maceta o sacos), cuando las plantas desarrollan muchas raíces, el riego al amanecer puede limitar la disponibilidad de agua al final del día, especialmente en un periodo con fuerte demanda evapotranspirativa, lo que conduce al estrés. Probablemente, el riego a primera hora de la mañana en verano tiene más interés que en otra estación porque la temperatura en las siguientes horas es adecuada para que la planta fotosintetice y, además, el agua no se evapora tan rápidamente como si regáramos al mediodía. Igualmente, en la época estival, si se riega antes de que el sol caliente el sustrato, a éste le costará más calentarse y la planta tampoco sufrirá menos estrés (Beeson, 1992).

Cuando se riega al mediodía o al atardecer, el nivel de radiación solar es alto y el agua se evapora antes, produciendo un gasto de agua innecesario (dependerá de la superficie mojada expuesta al sol y al aire). Lógicamente este hecho se acentúa en cultivos desarrollados en verano y si el riego es aéreo. En este último caso, el agua puede quedar en las hojas y puede que el sol las queme. Si regamos cuando la demanda evapotranspirativa está bajando (al caer la tarde) también se evita la evaporación y permite que las plantas tomen agua. En ese caso debemos de tener cuidado con regar en exceso ya que la acumulación de humedad durante las horas nocturnas puede favorecer la aparición de hongos.

Diversos autores han demostrado en cultivos en maceta que regar por la tarde aumenta el crecimiento comparado con el riego al amanecer (Keever and Cobb. 1985; Warren and Bilderback, 2002), por evitar que la planta se estrese al final del día. De este modo el intercambio gaseoso (fotosíntesis y la conductancia estomática) es más activo. En definitiva, esto debe conducir a un aumento la eficiencia del uso del agua.

Menos personas consideran al riego nocturno como una alternativa de riego adecuada, sobre todo en plantas e maceta. Probablemente, esta opinión está ligada con el exceso de humedad y su relación con la proliferación de enfermedades. Regando al anochecer puede que la maceta no evapore el exceso de agua antes de que llegue la noche, porque la evapotranspiración se reduce a valores mínimos, y las raíces pasarían las noches muy encharcadas lo que puede favorecer la podredumbre radicular.

Es sabido que las raíces respiran durante todo el día, por lo que necesitan un substrato que en algún momento deje entrar el aire y con él su oxígeno y deje salir el anhídrido carbónico procedente de la respiración. Un substrato empapado impide la circulación de los gases, y las raíces pueden "dejar de respirar". Esto no sería un problema si ocurre durante un tiempo relativamente corto, pero periodos largos de asfixia hace que las raíces mueran y se pudran. Incluso unas raíces que sufren repetidamente estas condiciones, en el caso de que no lleguen a morir en el primer estrés, se debilitarán y cada vez soportarán tiempos más cortos de asfixia.

A veces, regar por la noche puede ser la mejor opción, sobre todo en los meses más cálidos. Este sería el caso de cultivos en suelo, especialmente si es arcilloso y el agua tarda en percolar. Y si además son numerosos los emisores, como ocurre en un árbol frutal desarrollado y regado por riego localizado, la superficie mojada es mayor y el riego al mediodía produciría una importante pérdida de agua por evaporación.

Pero la influencia de la hora de riego está determinada por diversas circunstancias, y por tanto la mejor opción puede variar mucho según dichos condicionantes. Existen distintos contextos que marcan las diferencias de los efectos de la hora de riego sobre aspectos agronómicos como el crecimiento y el consumo de agua. Entre estos, podemos destacar los siguientes:

- a. La diferencia de temperatura entre el agua de riego y el sustrato
- b. Cultivo en maceta o suelo
- c. Las condiciones climáticas: calor o frío
- d. Sistema de riego: goteo o microaspersión
- e. Volumen y frecuencia de riego
- f. Tipo de cultivo (arbóreo, herbáceo, césped, etc.) y variedad
- g. El sistema de cultivo: aire libre o invernadero

El riego por goteo tiende a minimizar la influencia del momento del riego en un día, porque moja poca superficie del suelo y por tanto la superficie de evaporación es menor. Cuanto menor es el número de emisores usado para regar una planta, menor es la influencia de la hora de riego. Además, el riego por el gotero no moja a la planta, lo que hace que se reduzcan los problemas de hongos en las hojas o de quemaduras por el efecto prisma de las gotitas bajo alta radiación solar.

Igualmente el cultivo en invernadero minimiza la influencia de la hora de riego respecto a al cultivo al aire libre, porque en un invernadero el viento es mínimo o nulo por las noches y la humedad relativa es muy elevada, lo que incide sobre la evaporación.

El comportamiento y la acumulación del agua en una maceta con sustrato no es el mismo que en el suelo, primero porque es un espacio más confinado y las raíces tiene cerca el agua que en el suelo, y segundo porque la incidencia de la radiación es mayor y más directa sobre la maceta, lo que afecta a la temperatura y la humedad del sustrato.

Igualmente, el efecto de la hora de riego es diferente si estamos en verano o en invierno. En verano la temperatura es mayor y la duración del día también. Esto puede hacer que el sustrato se caliente excesivamente, estresando a las plantas. Entonces regar con agua fría en horas centrales no va bien porque genera un cambio demasiado brusco que las plantas pueden sentir. Cuanta menor temperatura tiene el agua de riego respecto al sustrato más lo

enfriaría y por tanto más se enfriará a la planta. Esta cuestión puede aprovecharse para modificar la diferencia entre la temperatura del día y la noche (DIF), que tiene gran influencia sobre el crecimiento longitudinal de la planta (Warner and Erwin, 2001). Así, un riego con agua más fría que el sustrato reduciría el DIF que produciría una reducción de la altura de la planta, de mayor o menor intensidad en función de la sensibilidad de la planta al DIF, de su estado fenológico y de la climatología. La disminución de la temperatura al inicio de la mañana (temperatura «DROP») es muy efectiva para reducir el DIF (Runkle, 2009),

Finalizando esta introducción, suele ser habitual estudiar las necesidades hídricas de las plantas en distintos estados fenológicos de las plantas e incluso hacer estudios de déficit hídrico en ellos (Álvarez et al, 2013), pero se ha estudiado menos la influencia de la hora de riego en el día. Por ello, el objetivo de este experimento fue evaluar los efectos de cuatro momentos de riego del día (7, 11, 16 y 22 horas) sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, el intercambio gaseoso, la humedad en el sustrato, la eficiencia de utilización del agua y la temperatura del sustrato.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones de cultivo

Se estudiaron plántulas de *Dianthus caryophyllus* L. procedentes del vivero comercial «Barberet&Blanc» en Puerto Lumbreras (Murcia), compañía especializada en investigación, selección y obtención de nuevas variedades de clavel. La variedad escogida fue el híbrido interespecífico «Mondriaan», que se caracteriza por ser precoz y tener flores rosadas con lígulas blancas en la mitad periférica.

El trasplante se realizó nada más recibir la planta (el día 20 de abril de 2014) en maceta de polietileno negro de 15 cm de diámetro superior (1,6 litros). El medio de cultivo utilizado fue una mezcla de sustratos con las siguientes proporciones: 40% fibra de coco, 40% turba rubia y un 20% de perlita. Además se añadieron 2 g l⁻¹ de un fertilizante de lenta liberación Osmocote 10-11-18+2+microelementos (velocidad de liberación de 5/6 meses a 21°C). Todo ello se mezcló usando una hormigonera, formando un medio de cultivo homogéneo. The available water and field capacity of the growing substrate were 38% and 58%, respectively. Agua asimilable por la planta y la capacidad de campo del medio de cultivo fueron un 39% y un 61%, respectivamente.

El experimento se llevó a cabo en un invernadero-umbráculo sin calefacción de cubierta semicircular (12 m de largo x 7 m de ancho, 3 m de altura en el lado y 4,5 m en el centro). El techo estaba cubierto con film de polietileno y una malla antipulgón, excepto en sus dos frontales (puertas) que sólo estaban cubiertos por malla. La ventilación del invernadero se realizó por aperturas de los laterales y por las dos puertas frontales. Dicho invernadero está situado en la finca experimental Tomás Ferro de la Universidad Politécnica de Cartagena ubicada en la localidad de La Palma (37º 35' N, 0º 59' W).

Las macetas se dispusieron en 8 filas de 7 macetas cada una. Las macetas que contenían las plantas se introdujeron en macetas de color blanco (24 cm de diámetro) fijadas dentro de los cuadrados (21 cm x 21 cm) que constituían un soporte hecho de barras corrugadas (8 mm de diámetro) que se disponía sobre columnas formadas por dos bloques de hormigón (uno encima del otro) a 80 cm del suelo.

Sistema de fertirrigación

El riego se realizó por goteo, conteniendo cada maceta dos emisores (Netafim Ltd. Corporate Headquarters, Tel Aviv, Israel) que proporcionaban $1,2 \text{ L h}^{-1}$ conectado a un microtubo de (60 cm x 4 mm) e insertado en el sustrato por medio de una estaquilla de plástico.

El riego fue controlado por un equipo automatizado compuesto por sensores dieléctricos EC-5 (Decagon Devices, Ltd., Pullman, WA) o HP-II (Stevens Water Monitoring Systems Inc., Portland, OR) que monitorizan el contenido volumétrico de agua (CVA) del sustrato, conectados a un programador-registrador de datos CR1000 (Campbell Scientific Inc., Logan, UT). Usamos un multiplexor (Campbell Scientific Inc., Logan, UT) para aumentar el número de sensores que puede medir un CR1000, conectando cada sensor al datalogger de forma secuencial. Para el control de las electroválvulas usamos un SMD-CD16D (Campbell Scientific Inc., Logan, UT) que controlaban una serie de relés G3NA205B (Omron Electronics Inc., Schaumburg, IL). El SMD-CD16D es un multiplicador de puertos de control del CR1000, los relés pueden activar/desactivar las electroválvulas y las bombas de cada tanque de riego. Para la programación del CR1000, la recolección de datos y su monitorización se utilizó el software Loggernet 3.4.1. (Campbell Scientific Inc., Logan, UT). El CR1000 y sus anexos, se introdujeron en una caja estanca, con un cargador y una batería de 12V para permitir el funcionamiento continuo del sistema en caso de corte eléctrico durante un día.

Todas las plantas fueron regadas por igual durante la fase de implantación (las dos primeras semanas). En este periodo los riegos se efectuaron cada dos días y la duración del riego fue de 10 min. A partir del 4 de mayo de 2014 y hasta finalizar el experimento (primera semana de julio de 2014), se regó aproximadamente 3 veces por semana. El volumen de agua aplicado fue variable, buscando un drenaje alrededor al 20% para todos los tratamientos. Al finalizar el experimento, cada maceta recibió un volumen de agua medio de $8,29 \pm 0,31$ litros.

En todos los casos el agua de riego fue fertilizada manteniendo un equilibrio nutritivo constante de 80-40-80 (N-P₂O₅-K₂O) en ppm y con un pH de alrededor de 6. Esta solución nutritiva se hizo mezclando nitrato potásico, nitrato amónico, fosfato potásico y ácido nítrico, a una concentración que aumentó la conductividad eléctrica (CE) del agua de riego ($1,3 \text{ dS m}^{-1}$) en $0,7 \text{ dS m}^{-1}$. Por tanto, la solución de riego tuvo en CE de 2 dS m^{-1} .

Tratamientos

Los tratamientos consistieron en la programación del riego a cuatro horas diferentes: por la mañana temprano (7 horas), antes del mediodía (11 horas), después del mediodía (16 horas) y al anochecer (23 horas).

Medida de las condiciones ambientales

Se utilizó el sensor-registrador LOG32 (Electronic GmbH Dostmann. Wertheim-Reicholzheim, Alemania) para medir y registrar la temperatura y humedad relativa del aire cada 30 min durante todo el período experimental. Las condiciones climáticas fueron: $10,80 \pm 2,6$ ° C (mínimo) y $50,50 \pm 3,90$ ° C (máximo); humedad relativa $7,70 \pm 16,60\%$ (mínimo) y $85,80 \pm 9,30\%$ (máximo). Con estos datos se calculó el déficit de presión de vapor (DPV) según la fórmula descrita por Snyder et al. (1986). La evolución de la temperatura ambiental y del DPV durante el experimento quedan expuestas en la figura 1.

Medida del contenido de humedad en sustrato

El contenido volumétrico de agua del sustrato (CVA) fue registrado cada media hora por sensores dieléctricos EC-5 (Decagon Devices, Ltd., Pullman, WA), previamente calibrados según el método descrito por Valdés et al. (2012). Para la calibración usamos aproximadamente 25 litros de sustrato que se extendió sobre bandejas al aire libre durante varios días hasta que quedó bastante seco. A continuación, un vaso de precipitados se rellena de sustrato totalmente compactándolo ligeramente (volumen de 1240 ml). Se enrasó y pesó, para seguidamente colocar 4 sondas EC5 de forma vertical. Se tomaron los valores de las sondas. Más adelante se vació el vaso y el sustrato se introdujo en un sobre para deshidratarlo completamente mediante una estufa de convección natural (modelo 2002471, JP Selecta, SA, Barcelona, España) a 60°C hasta alcanzar peso constante. Estos pasos se repitieron 11 veces añadiendo progresivamente entre 200 y 500 ml de agua al sustrato, para obtener los diferentes puntos de humedad que forman la recta de calibrado. Se realizó una regresión lineal

entre el contenido volumétrico de agua del sustrato (Y) y las lecturas externas de los sensores (mV). Esto resultó en la siguiente ecuación: $CVA = 3,6642 \times mV - 0,355$; $R^2 = 0,98$.

Con los datos tomados por dichos sensores, se confeccionaron una serie de gráficas evolutivas para el CVA en sustrato para cada tratamiento durante toda la fase de duración del experimento (Figura 2).

Medidas evolutivas del drenaje

A partir del primer riego y durante todo el cultivo se recogieron semanalmente los drenajes, de tres plantas escogidas aleatoriamente para cada tratamiento. El drenaje se recogió colocando debajo de la maceta un conjunto formado por un embudo, botella y plástico según podemos observar en la fotografía 5. Se midió el volumen de agua drenada, y la CE y pH mediante un equipo portátil (HI 98150 and HI 9835, Hanna Instruments S.L., respectivamente). Para tener mejor certeza del agua aplicada se dispuso, en cada tratamiento, una botella vacía con dos emisores que era regada de igual forma que el tratamiento.

Medidas de los parámetros hídricos de la planta

El primer día de julio de 2014 se midió durante un día la evolución del potencial hídrico foliar en cada una de las horas de riego establecidas en los tratamientos (ese día no se regó ningún tratamiento). Utilizamos una cámara de presión tipo Scholander-Hammel Soil Moisture, mod. 3000 (Soil Moisture Equipment Co, CA, USA) (Fotos 8 y 9). Según la técnica descrita por Scholander *et al.* (1965), las hojas se cortaron y se colocaron rápidamente en la cámara (Turner, 1988). La presión se incrementó a razón de $0,03 \text{ MPa s}^{-1}$ utilizando gas nitrógeno. Se utilizaron 4 repeticiones en cada tratamiento.

Medida de crecimiento de la planta

Al finalizar el experimento (primera semana de julio) se midieron la altura y anchura de la parte basal de la roseta en diez plantas para cada tratamiento, así como la altura total de la planta teniendo en cuenta los capullos florales (brote más alto). Igualmente se midió el

número de botones, el número de flores abiertas, el número de flores senescentes, el peso fresco aéreo y peso seco aéreo. Estas últimas medidas se realizaron en cinco plantas de cada tratamiento.

Para el cálculo del peso seco aéreo se introdujo la parte aérea de la planta en sobres perfectamente identificados con el número de repetición y tratamiento. Posteriormente, se introdujeron los sobres de papel en una estufa bacteriológica de convección natural (modelo 2002471, J.P. Selecta, S.A., España) a 60°C hasta peso constante.

Medida evolutiva del intercambio de gases

En el mismo día que se midió la evolución del potencial hídrico foliar (1 de julio de 2014) se realizaron medidas evolutivas de intercambio de gases de la planta para cada uno de los tratamientos (7:00, 11:00, 16:00 y 22:00 horas), haciéndolas coincidir con las cuatro horas de riego preestablecidas. Como dijimos anteriormente, este día en que se efectuó la medida no se regó ningún tratamiento.

La conductancia estomática y la tasa de fotosíntesis neta se midieron con un CIRAS-2 (PP Systems, Amesbury, MA). El caudal de la cámara fue de 200 ml min⁻¹ con 350 ppm de CO₂, el 100% de humedad relativa y 1500 mmol m² s⁻¹ del flujo de fotones fotosintéticos. Las mediciones se realizaron en cuatro plantas por tratamiento (Foto 7). El método utilizado y los parámetros determinados fueron los mismos descritos por Sheng et al. (2008).

Medida de la temperatura del sustrato

En cada tratamiento, se eligió una maceta al azar y se introdujo en ella un sensor de temperatura T107 (Decagon Devices, Ltd., Pullman, WA) conectado al CR1000. A la hora de colocarlos, se procuró que todos ellos se introdujeran a la misma profundidad del sustrato y con idéntica orientación. De esta forma se monitorizó la temperatura del sustrato cada media hora durante todo el desarrollo del experimento, insertando un sensor en una maceta representativa de cada tratamiento.

Análisis y diseño estadístico

El análisis estadístico fue un ANOVA simple (Statgraphics Plus 5.1). Las medias de los tratamientos fueron separadas con la Prueba de Rango Múltiple de LSD ($P < 0,05$). El error estándar medio se presenta en cada figura.



Foto 1.- Ejemplar de la variedad de *Dianthus caryophyllus* cultivada.

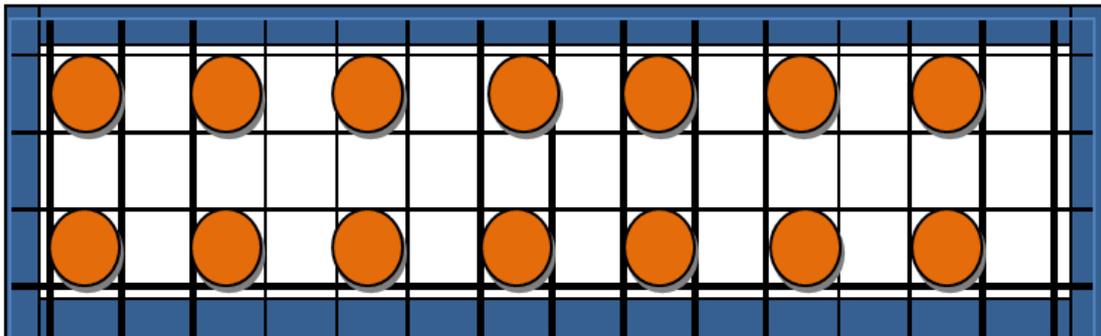


Foto 2.- Esquema de la distribución de las macetas sobre el soporte de bloques y mallazo.



Foto 3.- Aspecto del esqueje recién trasplantado de *Dianthus caryophyllus* L.



Foto 4.- Disposición de las macetas en el invernadero.



Foto 5.- Sistema de recogida y medida de drenajes.

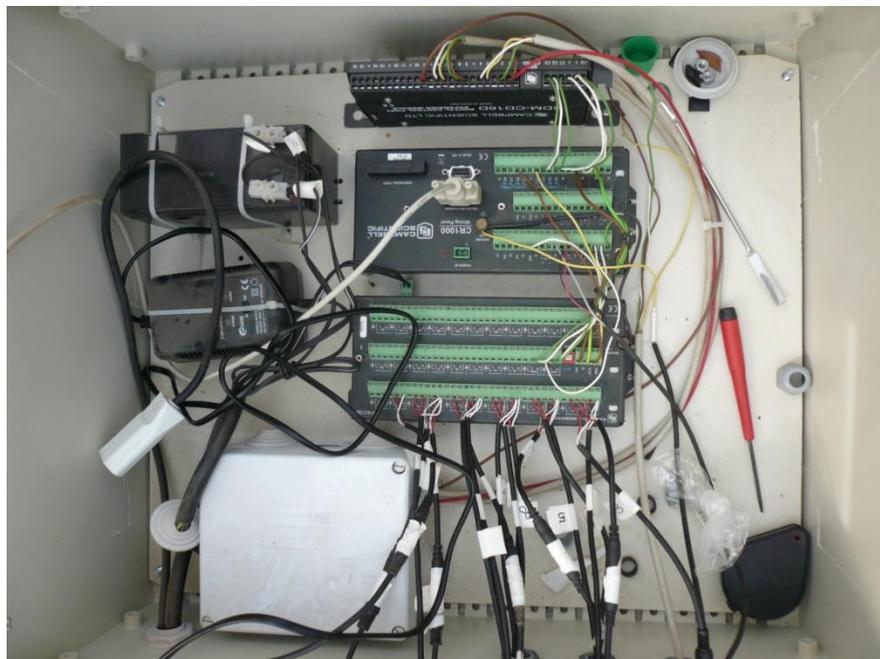


Foto 6.- Datalogger CR-1000



Foto 7.- Medida del intercambio gaseoso mediante CIRAS-2.

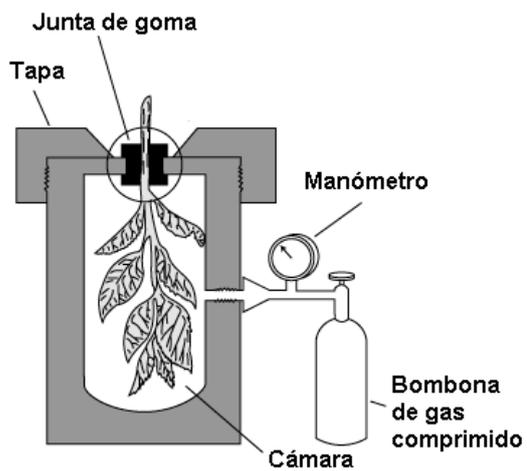


Foto 8.- Cámara de Scholander para la medida del potencial hídrico. El esquema de la cámara está adaptado de Taiz y Zeiger; Plant Physiology, 4th Edition online



Foto 9.- Detalle de la medida del potencial hídrico



Foto 10.- Detalle de la sonda de humedad del sustrato EC-5.

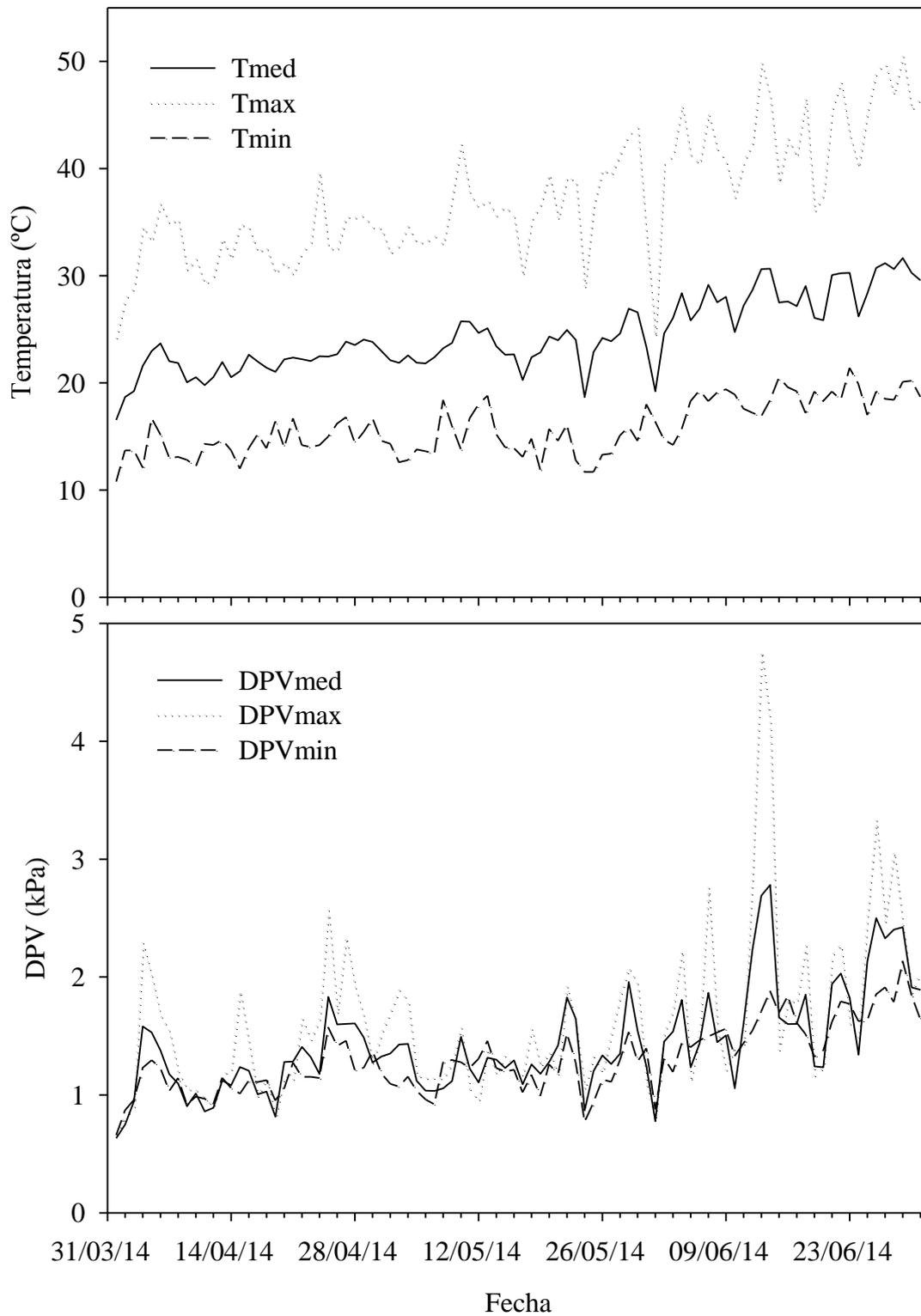


Figura 1 - Evolución de la temperatura y el déficit de presión de vapor (DPV) en el ambiente del invernadero experimental

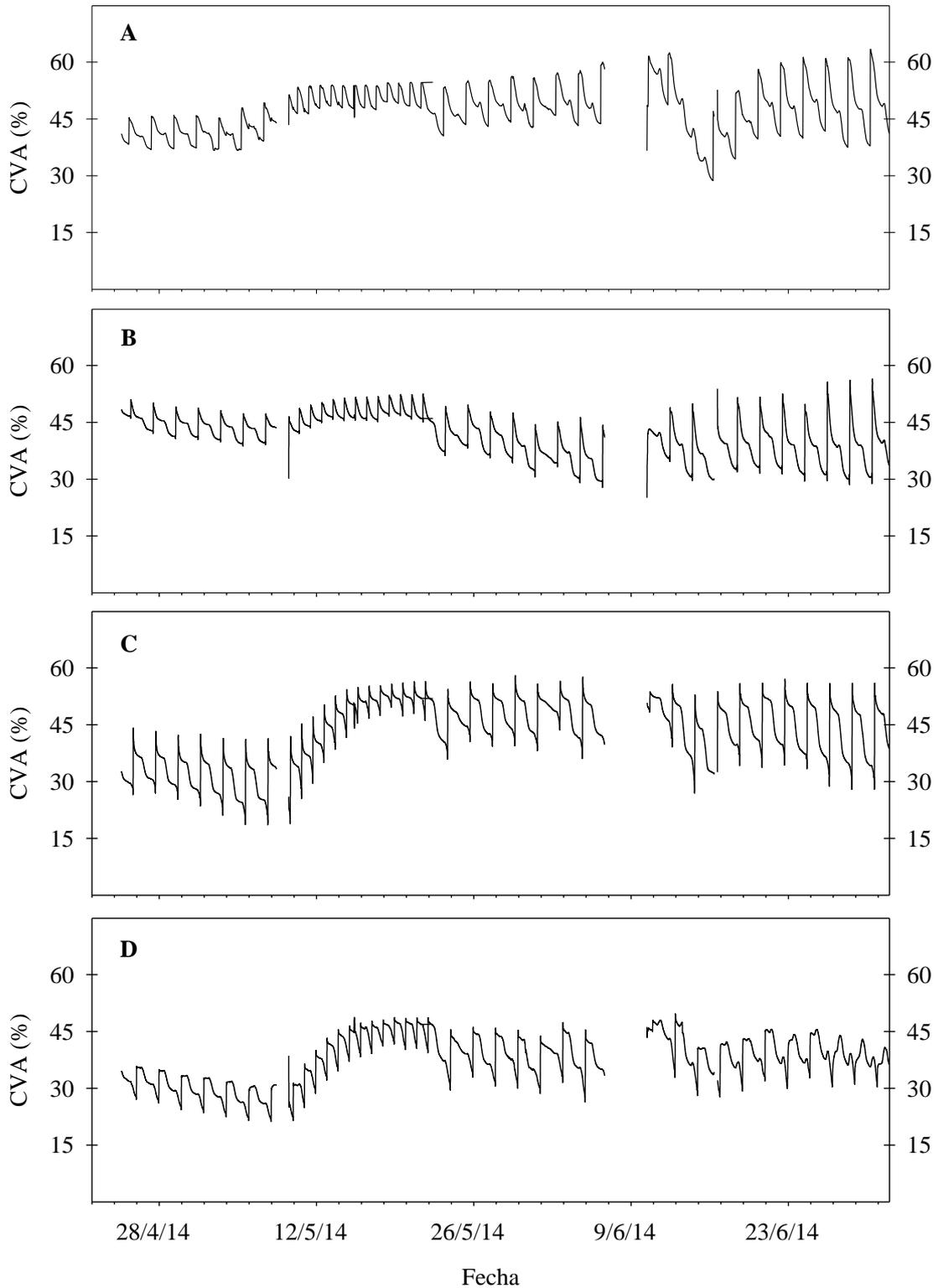


Figura 8 - Evolución del contenido volumétrico de agua del sustrato a lo largo del cultivo. Tratamientos: riego a las 7 horas (A); riego a las 11 horas (B); riego a las 16 horas (C); riego a las 22 horas (D)

RESULTADOS

Parámetros hídricos

Tanto el porcentaje de drenaje como la conductividad eléctrica (CE) del drenaje fueron afectados significativamente por la hora de riego (Tabla 1). Por el contrario, el pH no fue afectado por la hora de riego, mostrando valores entre 6,5 y 7 en los distintos tratamientos (Tabla 1). Esto era esperable porque el pH fue controlado mediante la aplicación de ácido nítrico a la solución de riego.

Regar a las 7 de la mañana produjo el más alto porcentaje de drenaje (23,40), mientras que el riego a las 22 horas condujo a el porcentaje de drenaje más bajo, con un valor de 15 (Tabla 1). El riego a las 11 o a las 16 horas produjo porcentajes intermedios.

Respecto a la CE del drenaje, el valor más bajo se produjo con el riego a las 7 horas (3,42 dS/m), mientras que el más alto ocurrió cuando regamos a las 16 horas (alrededor de 5 dS/m, ver tabla 1).

La eficiencia del uso del agua aplicada (EUAA), considerada como el volumen de agua aplicado dividido por el peso seco producido, nos indica que aproximadamente se necesitó un consumo de alrededor de 425 ml de agua para producir 1 gramo de biomasa seca aérea. En nuestras condiciones experimentales, el tratamiento de riego a las 7 horas produjo el valor más alto porque gastó 464 ml para producir 1 gramo de peso seco (Tabla 1).

La eficiencia del uso del agua consumida (EUAC), en donde se consideró el drenaje de las macetas, mantuvo el mismo comportamiento que la EUAA (Tabla 1).

Crecimiento y desarrollo de las plantas

Las plantas regadas a las 7 horas tuvieron un peso seco aéreo menor que las regadas en las horas restantes (Tabla 1). Sin embargo, la altura y anchura de la roseta no fueron afectadas estadísticamente por los tratamientos. Igualmente ocurrió para la altura total de la planta.

La evolución de las flores abiertas queda reflejada en la figura 3. En dicha figura vemos que el tratamiento de las 11 horas fue el más precoz de todos. Sin embargo, conforme avanzó el cultivo la presencia de flores abiertas se fue estabilizando. El 25 de junio las plantas regadas a las 7 horas fueron las que menor presencia de flores mostraron, mientras una semana después lo fueron las del riego a las 16 h.

Al final del cultivo, el número de flores totales por planta estuvo entre 34 y 41. El riego a las 22 horas favoreció la presencia de flores, especialmente cuando lo comparamos con el tratamiento de riego a las 7 horas (Tabla 1).

Temperatura de sustrato

La figura 4 refleja la evolución horaria de la temperatura del sustrato de los tratamientos horarios durante un día medio. Se observa cómo durante la noche los cuatro horarios de riego presentaron una temperatura muy similar. Conforme avanza el día, las temperaturas van diferenciándose alcanzando una diferencia máxima entre tratamientos en el momento en que se alcanza la máxima temperatura diaria, alrededor de las 16 horas. Aun así, a esta hora las macetas regadas a las 7, 11 y 16 horas tuvieron temperaturas de sustrato similares, mientras que el tratamiento de riego a las 22 horas presentó un incremento de 1,5 °C respecto a ellos.

La temperatura promedio diaria (TPD) considerando la temperatura del sustrato no fue afectada por los tratamientos (estuvo alrededor de 23°C), mientras que la diferencia entre la temperatura del día y la noche (DIF) sí lo fue (Tabla 1). El riego nocturno produjo el DIF más alto (+5,73 °C), mientras que el riego a las 11 h el más bajo (+4,82°C)

Intercambio gaseoso y potencial hídrico foliar

Se determinó el intercambio gaseoso al final del experimento con el fin de conocer la conductancia estomática y la tasa fotosintética de las plantas tratadas con los diferentes tratamientos. Se hicieron medidas evolutiva durante un día coincidiendo con las horas de riego establecidas para cada tratamiento, obteniendo de esta forma una gráfica de evolución de la conductancia estomática y de la tasa de fotosíntesis a lo largo del día de la medición (Figuras 5 y 6, respectivamente).

Observamos una tendencia general de aumento de la actividad estomática desde las 7 horas hasta las 11 horas, para caer más adelante hasta convertirse en nula al anochecer (Figura 5). Los valores de conductancia estomática mayores ocurren en todos los tratamientos de riegos a las 11 y 16 horas. El riego a las 16 horas hizo que la conductancia estomática fuera mayor que en los otros tratamientos (Figura 5C), pero más evidente fue la bajada de la conductancia estomática en el tratamiento de riego a las 7 horas (Figura 5A). La evolución

diaria de la tasa de fotosíntesis parece determinada por la evolución de la conductancia estomática, lo que fue extensible a todos los tratamientos de riego (Figura 6).

La evolución horaria del potencial hídrico siguió una tendencia bastante lineal en todos los tratamientos (Figura 7). Así, no hubo grandes diferencias a lo largo del día, a excepción del tratamiento regado a las 16 horas (Figura 7C), en donde una caída del potencial hídrico foliar a las 11 horas motivo esta falta de linealidad. Las plantas regadas a las 7 horas fueron las que tuvieron más alto potencial hídrico foliar a lo largo del día (Figura 7A), mientras que las regadas a las 16 horas presentaron los valores más bajos (Figuras 7C).

Contenido volumétrico de agua en el sustrato

En la figura 2 mostramos la evolución de los datos de contenido volumétrico de agua cada media hora durante todo el periodo experimental. En la Tabla 1 se muestra el valor medio de contenido volumétrico de agua (contenido volumétrico de agua) del sustrato de todos los valores presentados en la figura 2 para cada uno de los 4 tratamientos horarios. Las plantas regadas a las 22 horas fueron las que tuvieron menor contenido volumétrico de agua medio, manteniendo un porcentaje de 37,66%, mientras que las regadas a las 7 horas presentaron el mayor contenido volumétrico de agua medio (47%).

En la Figura 8 se muestran los datos horarios de contenido volumétrico de agua (CVA) del sustrato para tres días representativos del ciclo experimental (inicio, periodo medio y final de cultivo). Cada una de ellas queda superpuesta con la curva correspondiente a dicho día de déficit de presión de vapor (DPV) en el invernadero en el que se llevó a cabo la experiencia, con el objetivo de poder comparar el CVA en el sustrato con la demanda evapotranspirativa del cultivo.

En la figura 8A se observa como el periodo de mayor DPV ocurrió entre las 11 y las 16 horas, con un valor máximo alrededor de 6 kPa (entorno a las 12 horas) y un valor mínimo de 0,33 kPa (alrededor de las 7 horas).

En este periodo de mayor demanda evapotranspirativa, las plantas regadas a las 22 horas son las que presentaron menor CVA durante el periodo de máximo DPV, mientras que las regadas a las 7 y 11 horas fueron las que pasaron dicho periodo con mayor contenido volumétrico de agua (Figura 8). Conforme el cultivo se desarrolla y nos acercamos al verano, el DPV alcanza valores más altos (Figura 8B). Nuevamente las plantas regadas a las 7 y 11 horas pasan las horas de mayor demanda evapotranspirativa con mayor CVA, y las regadas a las 22 h

mantienen también la menor cantidad de humedad. Al inicio del verano (Figura 8C), el DPV alcanza valores máximos muy altos (casi 10 kPa), y la evolución de las curvas de humedad cambia respecto a las anteriores en que el riego a las 16 horas proporciona menor humedad en el sustrato durante el periodo de mayor DPV que el riego a las 22 horas.

Tabla 1 - Efectos de la hora de riego sobre los parámetros medidos al final del experimento

PARÁMETROS	Horas de riego			
	7	11	16	22
Drenaje (%)	23,40c	18,65b	18,67b	15,00a
CE drenaje (dS/m)	3,42a	3,64ab	5,03c	4,00b
pH drenaje	7,12a	6,93a	6,71a	7,25a
EUAA (L agua aplicada/g PS)	0,464b	0,419a	0,424a	0,420a
EUAC (L agua consumida/g PS)	0,356a	0,341a	0,345a	0,357a
Peso seco aéreo (g)	17,86a	19,77b	19,54b	19,72b
Altura roseta (cm)	12,50a	13,20a	12,70a	13,20a
Anchura roseta (cm)	19,80a	20,40a	20,60a	20,65a
Altura total (cm)	22,90a	23,30a	23,80a	25,20a
Nº de flores totales	34,40a	36,20a	39,80ab	41,20b
TPD (°C)	23,03a	22,99a	23,11a	23,32a
DIF (°C)	5,16b	4,82a	5,22b	5,73c
CVA medio (%)	47,02c	41,41b	42,60b	37,66a

CVA, contenido volumétrico de agua

DIF, diferencia entre la temperatura del día y la noche

TPD, temperatura promedio diaria

Agua aplicada en el riego $8,29 \pm 0,31$ litros

Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas al 95% según el test LSD

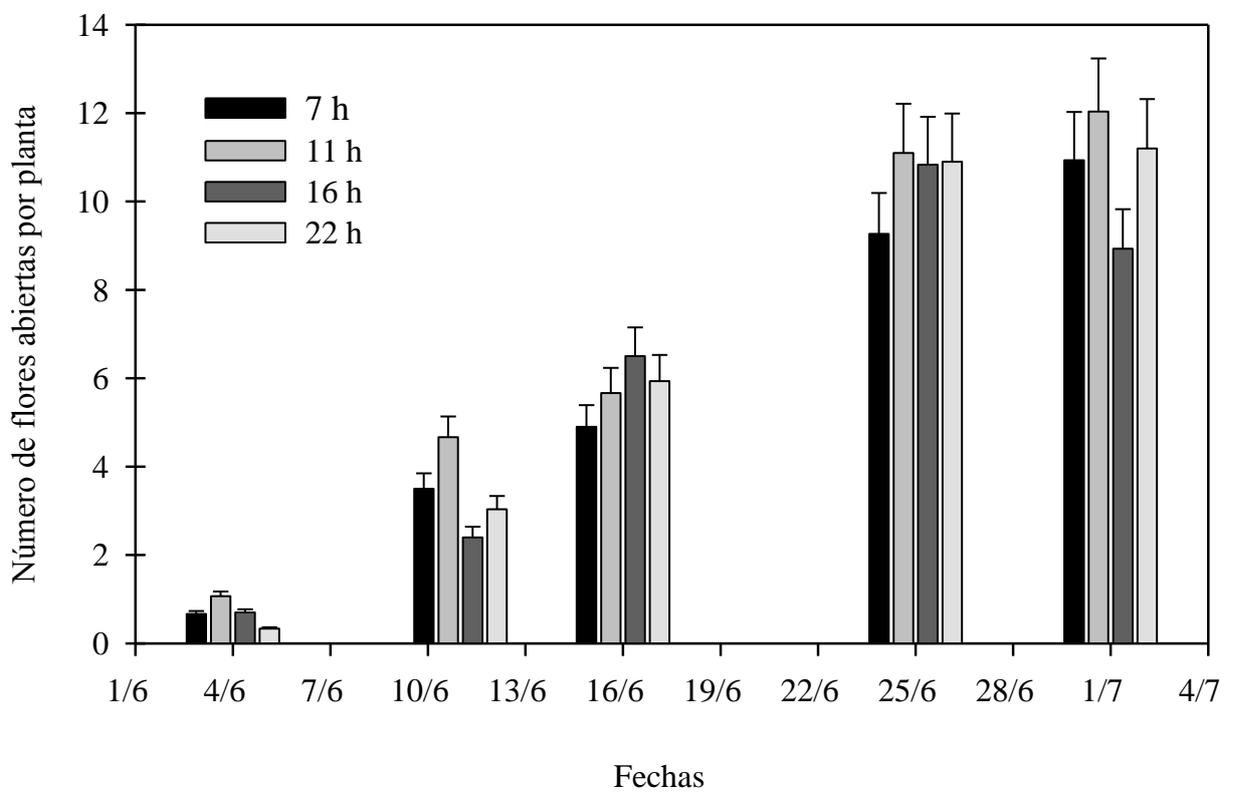


Figura 3 - Evolución de la presencia de flores abiertas

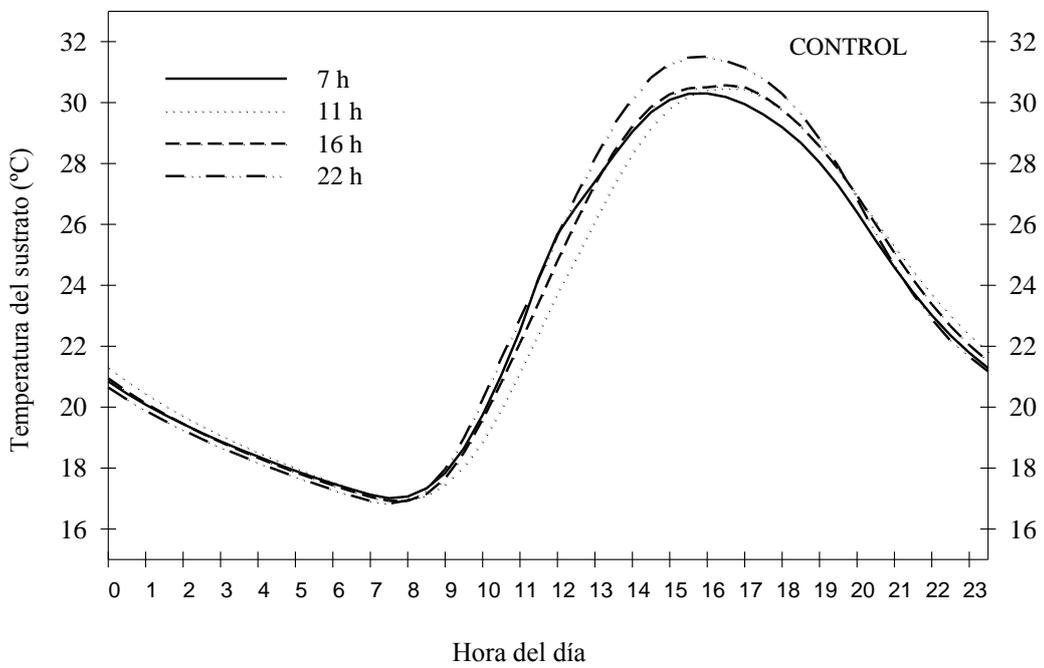


Figura 4 - Evolución diaria de la temperatura del sustrato para los diferentes tratamientos

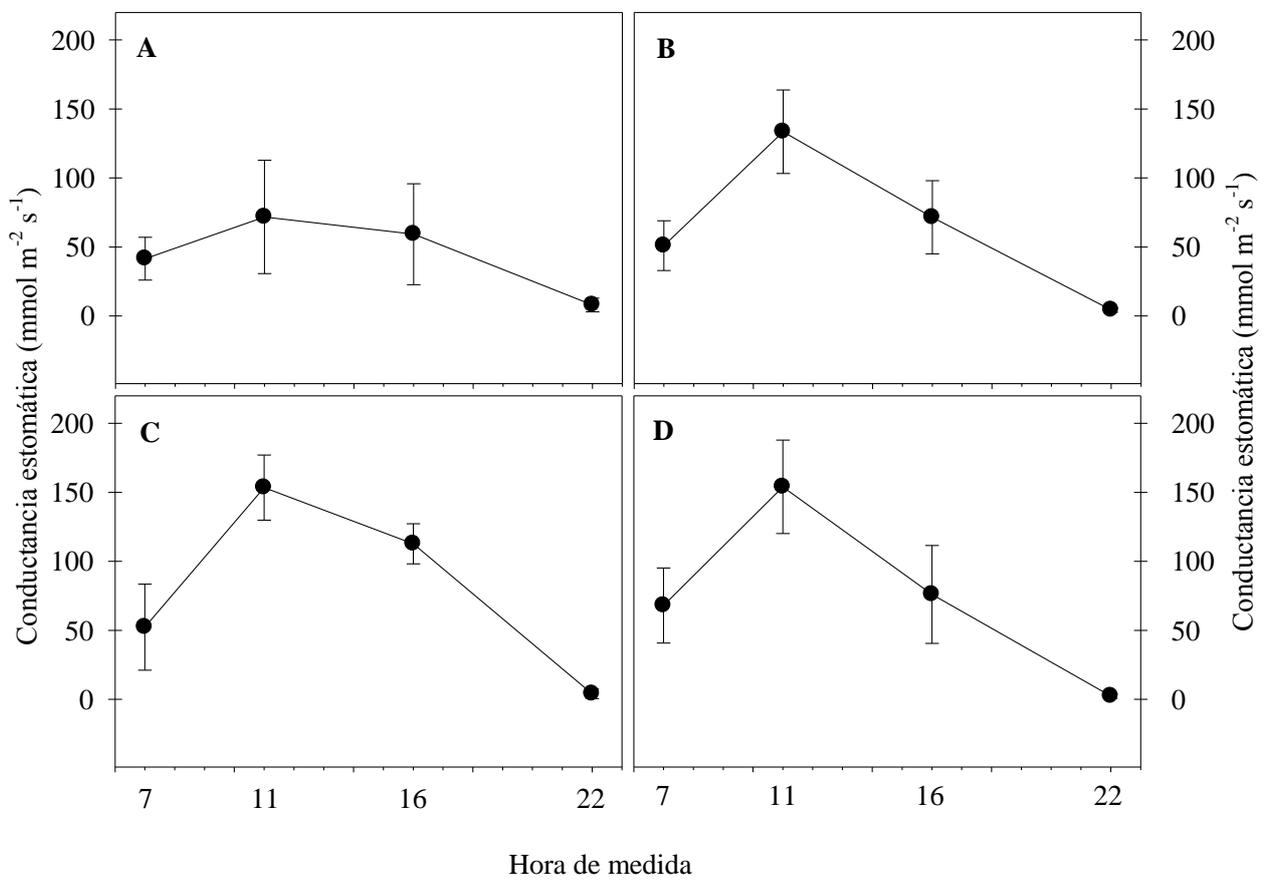


Figura 5 - Evolución de la conductancia estomática. Riego a las 7 horas (A); riego a las 11 horas (B); riego a las 16 horas (C); riego a las 22 horas (D)

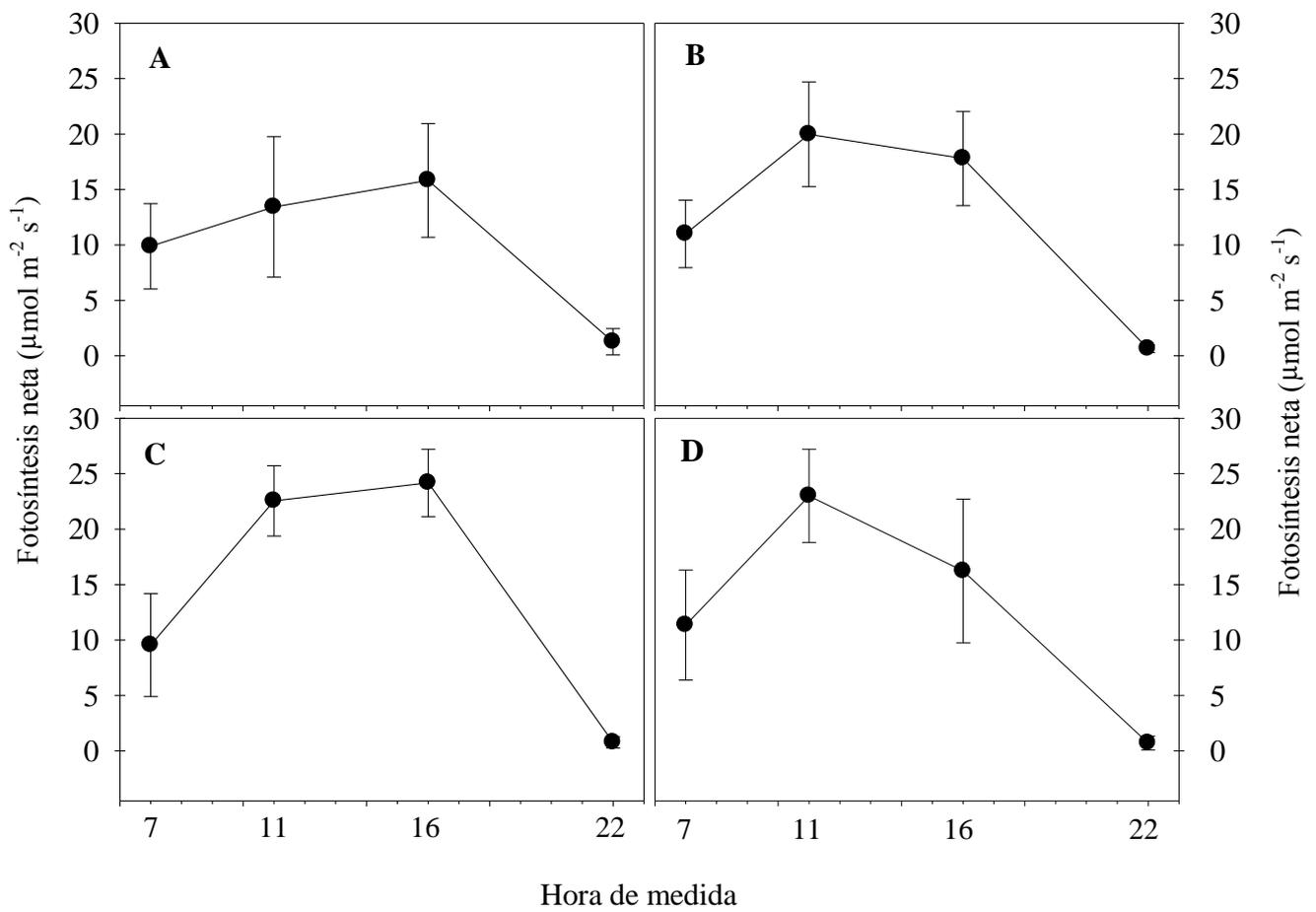


Figura 6 - Evolución de la tasa de fotosíntesis. Riego a las 7 horas (A); riego a las 11 horas (B); riego a las 16 horas (C); riego a las 22 horas (D)

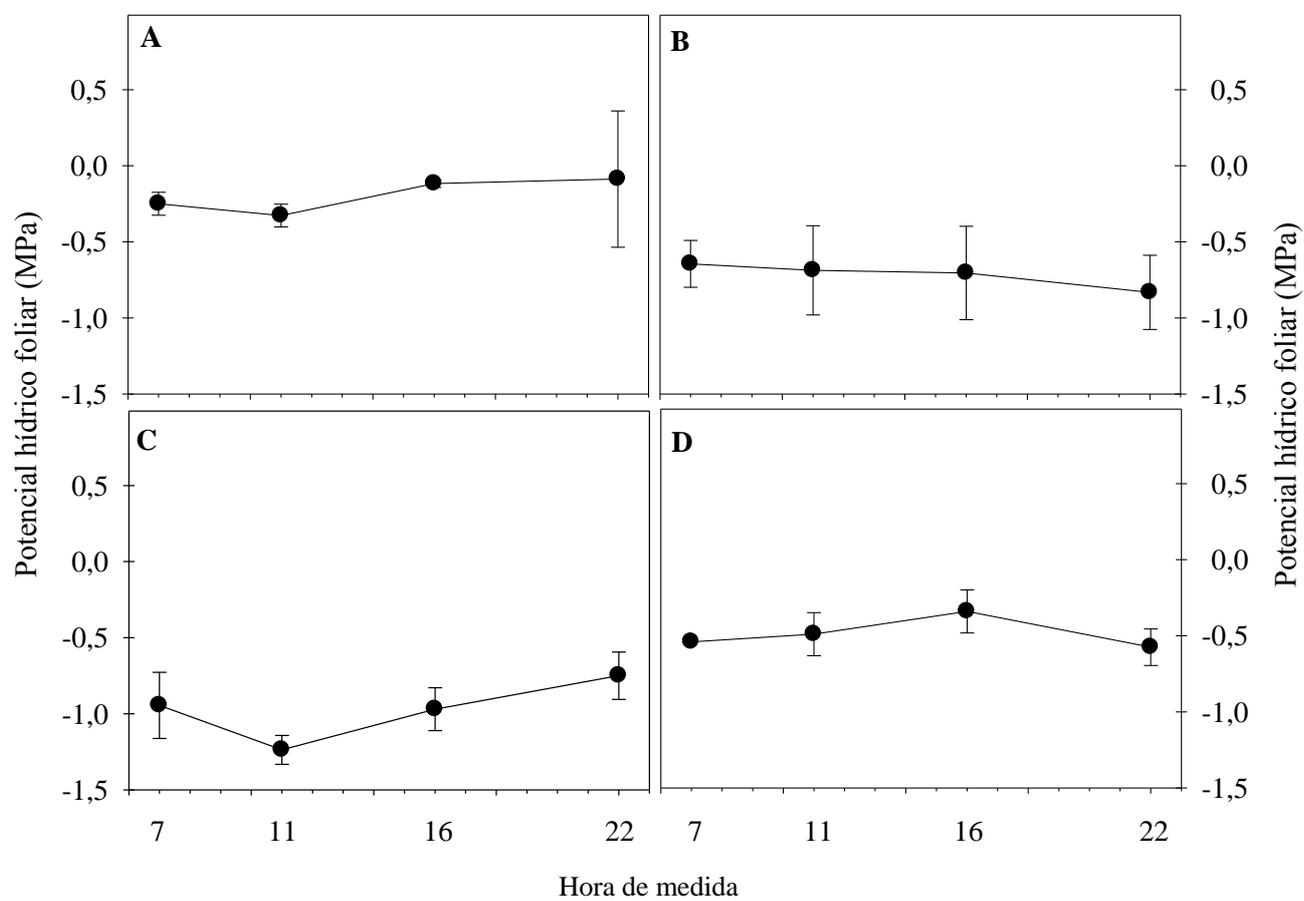


Figura 7 - Evolución diaria de los potencial hídricos. Riego a las 7 horas (A); riego a las 11 horas (B); riego a las 16 horas (C); riego a las 22 horas (D)

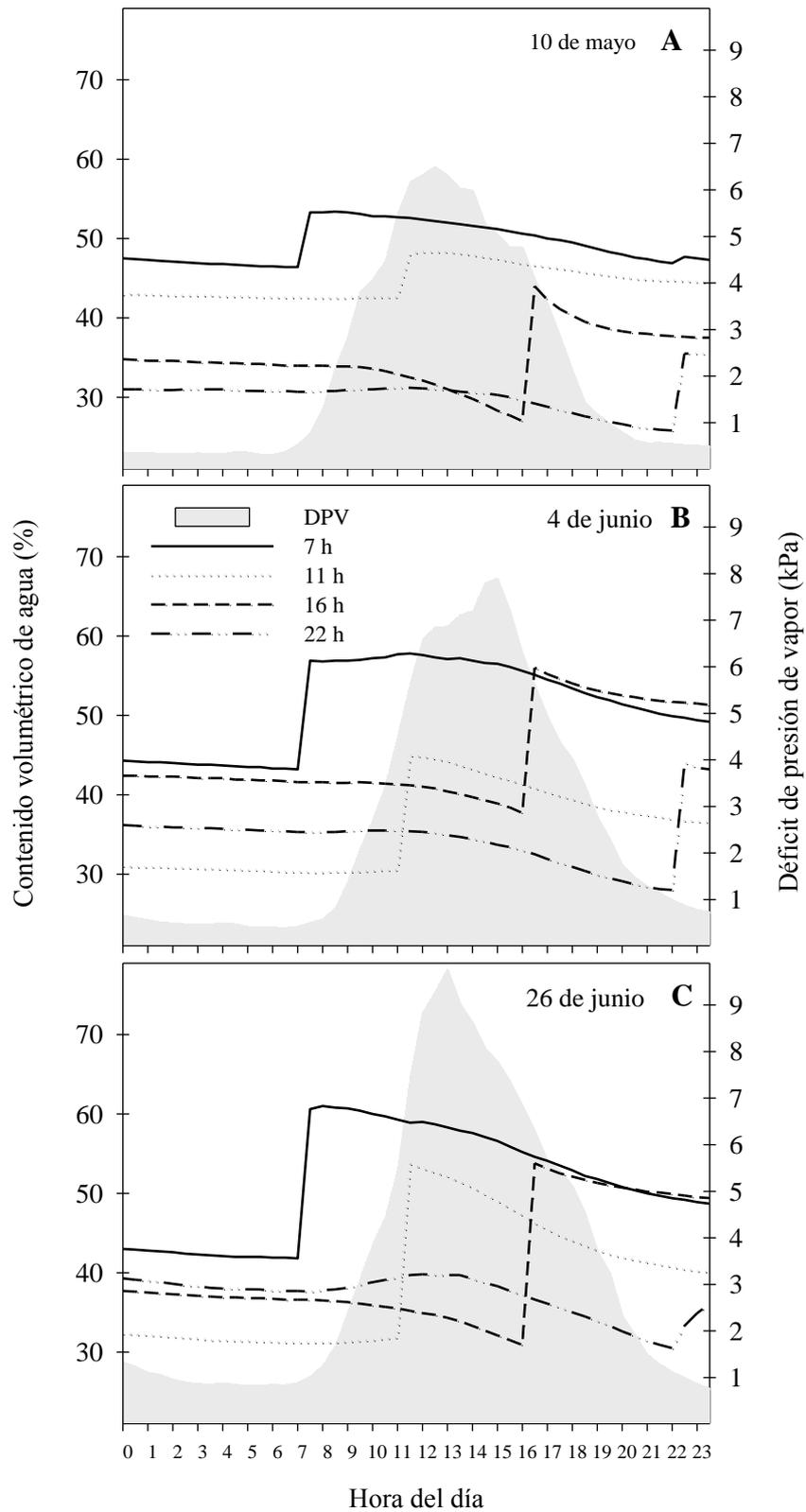


Figura 8 - Evolución diaria del contenido volumétrico de agua en el sustrato y del déficit de presión de vapor (DPV) en tres días representativos del periodo experimental (10 de mayo, 4 de junio y 24 de junio)

DISCUSIÓN

Riego por la mañana temprano

Regar por la mañana temprano produjo el mayor porcentaje de drenaje en las macetas, lo que condujo a un peor aprovechamiento del agua. Esto puede estar relacionado con un menor potencial de evapotranspiración que hay por la mañana temprano consecuencia de un bajo DPV, que como vemos en la figura 8 fue incluso menor que el acontecido tras el riego nocturno. Esta menor demanda evapotranspirativa hace que el sustrato pierda menos agua que bajo condiciones de mayor DPV en el ambiente. Entonces, en el momento de la llegada del agua, ésta no es del todo retenida por el sustrato al estar saturado el sustrato, propiciándose el drenaje. Así, en la figura 8 se aprecia que en el momento de producirse el riego, en los tres días representados, las macetas regadas a las 7 horas son las que tienen mayor CVA lo que justifica que drenen más. Esto es más evidente en el mes de mayo (Figura 8A), al principio de cultivo, en donde la combinación de un moderado déficit de presión de vapor y una superficie foliar todavía no muy desarrollada conduce a una evapotranspiración contenida.

Por otro lado, regar por la mañana temprano, antes de que el sol caliente el sustrato, reduce el posterior calentamiento del mismo (Figura 4), con lo que se evitaría que las plantas se estresen.

Las plantas regadas a las 7 horas fueron las mejores hidratadas de todas a lo largo del día, con valores de potencial hídrico foliar cercanos a cero (Figura 7A).

Sin embargo, a pesar de estas condiciones favorables para el crecimiento, las plantas tuvieron menor peso seco aéreo (Tabla 1), lo cual fue observado previamente por otros autores en experimentos similares. Así, Warren and Bilderback (2002) encontraron que el riego por la mañana temprano redujo el 50% del peso seco aéreo de *Cotoneaster dammeri* comparado con riegos al mediodía o por la tarde. En este experimento, los resultados no fueron tan evidentes como los de los anteriores autores, porque el riego a las 7 horas redujo sólo un 10% el peso seco aéreo.

La explicación a tal fenómeno parece estar en los bajos niveles de iluminación solar registrados en el invernadero durante las primeras horas del día, lo que conllevaría a una disminución de la actividad fotosintética, tal y como señalan las Figuras 5A y 6A. Pues a pesar

de disfrutar tanto de una buena hidratación como de una temperatura favorable al crecimiento, éste tratamiento no llegó a superar los niveles de peso seco aéreo (y por lo tanto de EUA) de los restantes tratamientos.

Corroborando esta idea, Warren and Bilderback (2002) encontraron una mayor eficiencia en el uso del agua en plantas de cotoneaster regadas al medio día o más tarde, comparado con el riego la mañana.

Riego alrededor del mediodía

Los efectos de regar a las 11 horas y a las 16 horas no fueron muy diferentes. Uno de los aspectos diferenciales fue que el riego a las 16 horas produjo la mayor conductividad eléctrica en el agua de drenaje, lo que puede explicarse porque las horas anteriores a las 16 horas son las de mayor déficit de presión de vapor (Figura 8). Un DPV alto indica una demanda evapotranspirativa alta, lo que conduce a que la planta transpire más y que el sustrato evapore también más. Es decir, a que se pierda más agua. Una situación de alta demanda evaporativa y baja humedad en el sustrato concentra las sales y, cuando llega el riego, este arrastra una mayor cantidad de sales por efecto lavado.

El peso seco aéreo de las plantas regadas a las 11 y 16 horas fue similar, pero como dijimos anteriormente, fue superior al conseguido con el riego a primeras horas de la mañana. El mayor crecimiento de las plantas regadas alrededor del mediodía comparado con el riego temprano podría explicarse porque el riego llega en un momento de máxima demanda evapotranspirativa, que ayudaría a reducir el estrés climático (Figuras 8B y C). En otras palabras, a la planta se le suministra el agua en el momento que más la necesita y habiendo más agua disponible en el sustrato, al producirse menos pérdida por drenaje en estos tratamientos.

A esta explicación, cabría añadirle el efecto de los mayores niveles de iluminación solar propios de este horario. Conllevando a que en el momento del riego, los niveles de actividad fotosintética sean los mayores del día (Figuras 5 y 6), aumentando así la acumulación de biomasa en la parte aérea de la planta, y obteniendo mayores niveles de PS que en el tratamiento regado a las 7:00 horas (Tabla 1), durante el cual, la conductividad estomática presenta niveles más reducidos. Se ha sugerido que el cierre estomático es la causa principal de la reducción de la fotosíntesis (Flexas et al. 2004; Chaves et al., 2009).

A pesar de que las plantas regadas a las 11 y 16 horas presentaron igual biomasa seca aérea, las primeras tuvieron una diferencia entre la temperatura del día y la noche (DIF) menor que las regadas a las 16 horas. El DIF influye sobre el número de entrenudos (número de hojas) en la planta y la longitud de éstos, que en definitiva determina la altura de los brotes (Bravo Plasencia, 1993). Pero aquí la influencia del DIF fue despreciable porque la altura de las plantas en todos los tratamientos fue similar, a pesar de ser el clavel una planta sensible al DIF (Bravo Plasencia, 1993). Probablemente, esto fue porque las diferencias en DIF fueron muy pequeñas y porque el DIF fue calculado con la temperatura del sustrato y no con la del ambiente. Desconocemos el efecto que pudiera ejercer la temperatura sobre el crecimiento de la raíz porque no fue estudiado aquí, pero algunos investigadores han sugerido el efecto de la temperatura del sustrato sobre el crecimiento radicular (Ruter et al., 1990).

El riego puede tener una influencia decisiva sobre el crecimiento de los brotes de las plantas, cuando hay diferencias de temperatura entre el agua de riego y el sustrato. El efecto térmico se explica mediante la Ley de Fourier para la transmisión del calor por conducción, de forma que si el agua de riego tiene menor temperatura que la del sustrato de la maceta, al entrar en contacto disminuye la temperatura del cepellón. Pero en nuestro caso no pudo haber grandes diferencias de temperatura entre el cepellón y el agua de riego porque los depósitos de agua estuvieron en el mismo invernadero que las plantas, lo que conduce a mínimas o a escasas diferencias en DIF entre tratamientos. Pero sí es posible, que estas pequeñas diferencias en DIF condujeran a que las plantas bajo riego a las 11 horas florecieran antes que las demás (Figura 3).

Respecto al estado hídrico de las plantas, la evolución del potencial hídrico foliar fue bastante lineal en las plantas regadas alrededor del mediodía, pero en las regadas a las 16 horas hubo una caída del potencial hídrico a las 11 horas. Esto ocurrió probablemente porque las plantas pasaron el tramo horario de mayor demanda evapotranspirativa sin riego, y como no hubo regulación estomática (Figura 5C) la planta perdió agua, hecho que se reflejó en el potencial hídrico foliar (Figura 7). Y cuando llega el riego a las 16 horas el potencial hídrico foliar se recupera (Figura 7).

Riego nocturno

Uno de los aspectos más significativos de regar al anochecer fue la reducción del drenaje respecto al resto de tratamientos (Tabla 1). Esto pudo suceder debido a que el sustrato llegaba al anochecer muy deshidratado al no recibir agua durante el día, transcurriendo el periodo de máxima demanda evaporativa con menor CVA en el sustrato que el resto de tratamientos (Figura 8). Pero este hecho no afectó fuertemente al intercambio gaseoso ni al crecimiento aéreo, que fue similar a las plantas regadas a las 11 y 16 horas, quizás porque las condiciones de humedad en el sustrato no fueron severas y/o a que el clavel es moderadamente tolerante a la sequía (Álvarez et al., 2009).

Por otro lado, el riego nocturno aumentó ligeramente la temperatura del sustrato comparado con el resto de tratamientos, sobre todo en el pico más cálido del día, probablemente por la baja humedad del sustrato. Un sustrato con poca agua tiene mayor presencia de aire en sus poros que de agua. El agua tiene un calor específico (cantidad de calor que por kilogramo necesita un cuerpo para que su temperatura se eleve en un grado centígrado) más alto que el suelo y el aire. Es decir, el agua tiene más capacidad de absorber calor que el aire, por lo que tarda más en calentarse y también en enfriarse. Esto ocasionó que el DIF fuera ligeramente mayor en estas plantas, y sin embargo, no produjo un cambio significativo de la temperatura promedio diaria (TPD) (Tabla 1).

La TPD marca la velocidad de desarrollo de una planta (Grimstad et al., 1993). De hecho, si las plantas pasan una semana fresca y otra cálida, su velocidad de desarrollo estará en función del promedio de las dos semanas. En este experimento, todas las plantas regadas por la noche tuvieron una duración del ciclo de cultivo similar al resto de tratamientos porque la TPD fue la misma en los cuatro horarios estudiados. Esto significa que bajo riego nocturno, el pico máximo de temperatura fue compensado con bajadas minúsculas de temperatura durante la noche al estar el sustrato más mojado. Además, hay que añadir que el hecho de que las plantas fueran cultivadas en macetas de plástico de color negro que se dispusieron dentro de macetas blancas, amortiguó las variaciones de temperatura ocasionadas por la incidencia de la radiación solar.

Respecto al crecimiento aéreo de las plantas regadas al anochecer, la biomasa seca producida por los riegos de las 11, 16 y 22 horas fueron similares (Tabla 1). Al contrario de lo ocurrido en nuestro experimento, Keever and Cobbs (1985) observaron que riegos al mediodía o por la tarde incrementaron el crecimiento aéreo de azaleas comparado con el riego nocturno.

La diferencia en cuanto a resultados puede erradicar en el hecho de que a pesar que las plantas regadas por la noche pasaran las horas de alta DPV con menor CVA que el resto de tratamientos, no provocó un estrés fotosintético (Figuras 5 y 6) que redujera el peso seco aéreo, de ahí que los pesos secos aéreos fueran similares. Posiblemente con aportaciones de agua más escasas el riego a las 22 horas podría reducir la disponibilidad de agua al final del día, provocando estrés hídrico en las plantas, especialmente cuando la planta está muy desarrollada.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Los efectos de la hora de riego sobre el crecimiento, desarrollo y el consumo de agua en este experimento no fueron muy evidentes, probablemente porque las condiciones experimentales no fueron las más propicias para encontrar diferencias. Entre los aspectos que pudieron minimizar los posibles efectos de la hora de riego, encontramos:

- a. La ausencia de diferencia de temperatura entre el agua de riego y el sustrato.
- b. Un aporte de riego generoso.
- c. El desarrollo del cultivo bajo invernadero-umbráculo.
- d. Una especie elegida (*Dianthus caryophyllus*) originaria de la cuenca mediterránea y por lo tanto moderadamente adaptada a condiciones de sequía y altas temperaturas.

A pesar de esta escasa diferencia de la hora de riego entre los cuatro tratamientos estudiados, el riego por la mañana temprano contribuyó a que se dieran las mejores condiciones de temperatura de sustrato e hidratación del cultivo, pero la menor eficiencia del uso de agua no fue un aspecto positivo, relacionada con una baja acumulación de biomasa aérea.

Apenas hubo diferencias entre regar a las 11 horas y las 16 horas. Podemos decir, sin rotundidad, y siempre bajo condiciones similares a las de éste experimento, que en éste intervalo se sitúa la hora de riego más propicia para regar obteniendo buenos resultados en cuanto a crecimiento y precocidad de la floración, además de haber obtenido los valores más positivos en cuanto a la Eficiencia del Uso del Agua.

El riego nocturno redujo el drenaje sin mejorar la eficiencia del uso del agua aplicada respecto a los tratamientos de riego alrededor del mediodía. Regar por la noche condujo a que el contenido volumétrico medio del sustrato fuera el más bajo de todos, haciendo que las plantas pasaran las horas de mayor demanda evapotranspirativa con el sustrato menos hidratado que el del resto de tratamientos, contribuyendo al aumento de la temperatura del mismo.

En conclusión, no existe una hora de riego adecuada de carácter universal, y su elección dependerá de nuestros condicionantes de cultivo. Por lo tanto, sería interesante continuar investigando sobre el tema, diseñando experiencias acordes con las realidades de cultivo de diferentes especies vegetales en las distintas zonas geográficas donde se cultiven, y

considerando especialmente la modalidad de cultivo al aire libre, en dónde suponemos que los efectos de la hora de riego serán más significativos.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- Álvarez, S., Bañón, S., Sánchez-Blanco, M. J. (2013). Regulated deficit irrigation in different phenological stages of potted geranium plants: water consumption, water relations and ornamental quality. *Acta Physiol Plant*, 35:1257-1267.
- Álvarez, S., Navarro, A., Bañón, S., & Sánchez-Blanco, M. J. (2009). Regulated deficit irrigation in potted *Dianthus* plants: Effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 579-585.
- Azcón-Bieto, J., Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal. Segunda edición*. McGraw Hill.
- Beeson, R.C. 1992. Restricting overhead irrigation to dawn limits growth in container grown woody ornamentals. *HortScience* 27: 996-999.
- Ben-Asher, J.(1979). Trickle irrigation timing and its effect on plant and soil water status, *Agricultural Water Management*, 2(3):225-232.
- Bravo Plasencia, F. 1993. Concepto de <<DIF>> y su uso en el cultivo de plantas ornamentales. *Revista de Horticultura* nº 92, Octubre 1993.
- Chaves, M. M., Flexas, J. y Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551-560.
- Erik Runkle. 2009. Controlling Height with Temperature Drops Michigan State University. Floriculture Crop Production Information.
- Flexas, J., Botas, J., Loreto, F., Cornic, G y Sharkey, T. D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C₃ plants. *Plant Biology*, 6, 269-279.
- Grimstad, S. O., & Frimanslund, E. (1993). Effect of different day and night temperature regimes on greenhouse cucumber young plant production, flower bud formation and early yield. *Scientia horticulturae*, 53(3), 191-204.
- Keever, G.J. and G.S. Cobb. 1985. Irrigation scheduling effects on container media and canopy temperature and growth of 'Hershey's Red' azalea. *HortScience* 20:921-923.

- Paulin, A., Kerhardy, F., & Maestri, B. (1985). Effect of drought and prolonged refrigeration on senescence in cut carnation (*Dianthus caryophyllus*). *Physiologia plantarum*, 64(4), 535-540.
- Ruter, J. M. y Ingram, D. L. (1990). Carbon-labeled photosynthate partitioning in *Ilex crenata* 'Rotundifolia' at supraoptimal root-zone temperatures. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 115, 1008-1013.
- Ruter, J. M. y Ingram, D. L. (1990). Influence of temperature on root respiration in 'Rotundifolia' holly. *Proceedings of Southern Nursery Association Research Conference*, 35, 100-102.
- Snyder, R., R.H. Shaw, and K.T. Dawld. 1986. Vapour pressure deficit and other psychrometric properties of air from temperature and relative humidity.
- Warren, Stuart L., Bilderback, Ted E. (2002). Timing of Low Pressure Irrigation Affects Plant Growth and Water Utilization Efficiency. *J. Environ. Hort.* 20(3):184–188.
- Warren, Stuart L., Bilderback, Ted E. (2005). More Plant per Gallon: Getting More Out of Your Water. *Horttechnology*, 15(1).
- Warner, R.M. and Erwin, J.E. 2001. Temperature, pp 10-15. In: Gaston, M.L.; Konjoian, P.S.; Kunkle, L.A.; Wilt, M. (Eds.). *Tips on Regulating Growth of Floriculture Crops*. Ohio Florists' Association Services, Inc. Columbus. USA.
- www.flor.hrt.msu.edu/production-info/Temperaturedrops