



Universidad
Politécnica
de Cartagena



**Máster Universitario en
Técnicas Avanzadas en Investigación y
Desarrollo Agrario y Alimentario**

Programación de riego salino en geranio utilizando sensores de conductividad eléctrica y humedad del suelo

**Alumno/a: María Soledad Alcaraz Albaladejo
Director: Sebastián del Pilar Bañón Arias**

Cartagena, septiembre de 2013



Universidad
Politécnica
de Cartagena

AUTORIZACIÓN DE LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

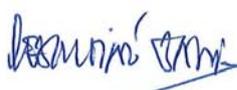
D/D^a **Sebastián Bañón Arias**

EN CALIDAD DE DIRECTOR INFORMA:

Que el trabajo titulado “**Programación de riego salino en geranio utilizando sensores de conductividad eléctrica y humedad del suelo**”,

ha sido realizado por D./D^a. **María Soledad Alcaraz Albaladejo**, bajo la dirección y supervisión de D./D^a. **Sebastián Bañón Arias** y que se autoriza al alumno a la defensa del mismo.

En Cartagena, a __19__ de ____septiembre____ de __2013__




Fdo.: __Sebastián Bañón Arias__

RESUMEN

La escasez de agua y la necesidad de mejorar la gestión medioambiental nos empujan al uso de agua residual depurada en la agricultura, y la producción de plantas ornamentales es una actividad buena receptora de estas aguas. La elevada salinidad de algunas de estas aguas, especialmente las que proceden de zonas costeras, obliga a optimizar el manejo del riego salino para reducir daños, y el uso de sensores de humedad y conductividad eléctrica (CE) del suelo puede jugar un papel importante en esta optimización. En este trabajo se pretende valorar si fijando distintos niveles de CE del agua de los poros (CEAP) en sensores GS3-Decagon bajo un sistema de riego automático y programable, podemos crear distintas condiciones salinas en el sustrato de macetas con geranio bajo riego dual (agua residual depurada de $5,5 \text{ dSm}^{-1}$ y agua de $1,6 \text{ dSm}^{-1}$). Se estudiaron cinco tratamientos: control (regado con agua no salina) y cuatro tratamientos salinos (regados con agua salina) programados para dar un riego no salino cada vez que se superaba un umbral de CEAP de 5 (T5), 5,5 (T5,5), 6 (T6) y 6,5 (T6,5) dS m^{-1} . Se valoraron las condiciones salinas que soportaron las plantas en términos de crecimiento, desarrollo, consumo de agua, drenaje e intercambio gaseoso. Al final del experimento las plantas bajo T5 presentaron un aspecto ornamental bueno y redujeron un 50% el consumo de agua respecto al control. Las plantas bajo los otros tres tratamientos salinos fueron excesivamente enanas y presentaron un patrón de crecimiento y desarrollo pobre. El sensor GS3 mantuvo bien diferentes niveles de salinización en el sustrato hasta una CEAP de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$. Sugerimos que el promedio de CEAP durante el periodo de cultivo no es un valor muy preciso de las condiciones salinas acontecidas en el sustrato, porque la variabilidad de la CEAP a lo largo periodo de cultivo ejerce una importante influencia.

PALABRAS CLAVES: Planta en maceta, Salinidad, Floricultura, Agua residual depurada; Geranio zonal, *Pelargonium*

ABSTRACT

Both the water scarcity and need to improve environmental management lead to the use of treated wastewater in agriculture, and the production of ornamental plants is a good receptor activity of this water. Reclaimed wastewater may have high salt content, especially when it is produced in the municipal wastewater treatment plants located near the Mediterranean coast. Under salinity, we have to optimize irrigation management to reduce salinity damage in plant, and the use of soil sensors can play an important role in this optimization. The availability of soil moisture sensors that are also capable of measuring soil bulk EC has opened up new possibilities for the automatic control of the salinity. This paper aims to assess whether by fixing different levels of pore water EC in GS3-Decagon sensors connects with an automatic and programmable irrigation system, we can make different saline conditions in the substrate solution of potted geranium under dual irrigation (treated wastewater of 5.5 dS m^{-1} and good water of 1.6 dS m^{-1}). Five treatments were studied: control (irrigated with good water) and four saline treatments (irrigated with saline water) programmed to give a non-saline irrigation whenever the pore water EC exceeded a threshold of 5 (T5), 5.5 (T5,5), 6 (T6) and 6.5 (T6,5) dS m^{-1} . We assessed the saline conditions in substrate solution in terms of growth, development, water consumption, leaching fraction and gas exchange. At the end of the experiment, the plants under T5 had a good ornamental appearance; this treatment reduced by 50% water consumption compared with the control. The plants under the other three saline treatments were too small with a poor growth and development. The GS3 sensor caused different levels of salinity in the substrate when the pore water EC was $\leq 5.5 \text{ dS m}^{-1}$. We suggest that the average pore water EC during the experiment was not a very accurate indicator of the saline conditions in the substrate, because the variability of this EC along the culture period had an important influence.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN, **8**

MATERIAL Y MÉTODOS, **12**

Material vegetal, **12**

Condiciones de cultivo, **12**

Calibración de las sondas GS3, **14**

Tratamientos, **15**

Medidas de consumo de agua, drenaje, eficiencia en el uso del agua de riego y evapotranspiración, **15**

Medidas de crecimiento y desarrollo, **16**

Medida evolutiva del intercambio de gases, **17**

Descripción de síntomas salinos visuales, **17**

Diseño y análisis estadístico, **18**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN, **19**

Parámetros de riego y de consumo de agua, **19**

Crecimiento y desarrollo, **20**

Intercambio gaseoso en la planta, **23**

Porcentaje de drenaje y CE del drenaje y del agua de los poros, **25**

Evolución del CVA, CEM y CEAP, **26**

CONCLUSIONES, **29**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS, **30**

ANEXO I: FOTOGRAFÍAS, **45**

Índice de tablas

Tabla 1.- Valores de las medidas de consumo y riego, **36**

Tabla 2.- Valores de las medidas de drenaje y conductividad eléctrica, **36**

Tabla 3.- Valores de las medidas de crecimiento y desarrollo, **37**

Índice de figuras

Figura 1.- Condiciones climáticas en el interior del invernadero durante el cultivo. Temperaturas medias, mínimas y máximas (A), déficit de presión de vapor medio, mínimo y máximo (B), PAR máximo e integral diaria de la luz (C). Los datos representados fueron medidas diarias., **38**

Figura 2.- Distribución del volumen de agua aplicada en los diferentes tratamientos. Agua control $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ y agua salina $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, **39**

Figura 3.- Evolución de la evapotranspiración (A), el agua aplicada total (agua residual y no salina)(B), y agua aplicada no salina (C) durante el experimento, **40**

Figura 4.- Evolución de la humedad, conductividad eléctrica del agua de los poros y conductividad eléctrica del medio en un periodo de tres semanas durante el experimento. Los datos mostrados son la media de tres sensores por tratamiento realizada por el datalogger. Riego con agua no salina (*), **41**

Figura 5.- Promedio de la conductividad eléctrica del agua de los poros en los distintos tratamientos. Para cada tratamiento, el círculo negro representa la media de todas las medidas de las sondas a lo largo del experimento, y las barras el error estándar de estas medidas evolutivas, **42**

Figura 6.- Evolución diaria de la fotosíntesis neta (P_n) y la conductancia estomática (gl) al final del periodo experimental en plantas de geranio sometidas a distintos niveles de salinidad (círculos blancos) y en plantas no salinizadas (círculos negros). Las barras verticales en las gráficas representan los errores estándar, **43**

Figura 7.- Evolución de la temperatura a lo largo del día 18 de julio de 2013 en el que se realizaron las medidas de intercambio gaseoso, **44**

INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda de agua de buena calidad para uso doméstico e industrial en muchos países del mundo nos está obligando a utilizar aguas marginales en la producción agrícola, en donde la producción de plantas ornamentales y el mantenimiento de los espacios verdes son actividades potencialmente buenas receptoras de estas aguas. Entre estas aguas, la aplicación de aguas residuales depuradas es una práctica común en muchas zonas de cultivo, especialmente en ambientes áridos y semiáridos, donde el agua es un factor muy limitante (Yermiyahu et al., 2008). Sin embargo, las aguas residuales depuradas suelen ser negativas para el crecimiento vegetal porque pueden acumular iones tóxicos (Feigin et al., 1991; Brar et al., 2000; Yadav et al., 2002) y altos niveles de sal (Bañón et al., 2011), problema cuya magnitud estará en función de la ubicación de las plantas depuradoras. Ciertamente, dependiendo de su origen y tratamiento, las aguas residuales depuradas pueden contener mayores o menores concentraciones de sales, metales pesados u organismos patógenos. En el Sureste de la Península Ibérica las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales situadas cerca de la costa tienden a producir aguas residuales con una conductividad eléctrica (CE) alta. En cualquier caso, son numerosos los estudios que han demostrado el interés ambiental y agronómico de utilizar aguas residuales depuradas para el riego en diferentes cultivos (Parsons et al., 2001, Pedrero y Alarcón, 2009; Pedrero et al., 2010), que animan a la realización de investigaciones sobre estrategias para la gestión del riego con aguas marginales, especialmente aguas salinas.

En general, a medida que aumenta la salinidad la probabilidad de encontrar problemas en los cultivos sobre los que se aplica aumenta. De hecho, una alta concentración de sales en el agua de riego conduce a una acumulación excesiva de sales en la zona radicular, que inducirá estrés hídrico debido a la disminución del potencial hídrico del medio (estrés osmótico). Además, algunos iones como el sodio y el cloruro se pueden acumular en el tejido vegetal, donde alcanzan niveles tóxicos (toxicidad iónica), y/o inducen desequilibrios en algunos nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta. Las consecuencias agronómicas de la salinización sobre las plantas ornamentales suelen ser la reducción del crecimiento (del tamaño de la planta), la presencia de alteraciones en el desarrollo y la aparición de necrosis y clorosis foliares (Bañón et al., 2011), resultando en una pérdida de su valor estético (Morales et al., 2001). Estas consecuencias suelen estar acompañadas por otras de índole fisiológico que

producen una disfunción metabólica, incluyendo una caída de la tasa fotosintética y cambios en la actividad enzimática (Azza et al., 2007). Sin embargo, un manejo adecuado del riego puede hacer que la sal tenga un aprovechamiento ventajoso desde el punto de vista ornamental y medioambiental, como es la mejora de la compacidad de las plantas sin producir daños salinos visuales, porque el aspecto estético de las plantas ornamentales puede o no estar relacionado con la producción de biomasa y su respuesta fotosintética (Zollinger et al., 2007). Además, con esto se evita la aplicación de retardadores del crecimiento (Valdés et al., 2012b).

Para minimizar los efectos negativos del riego salino se suelen aplicar distintas estrategias, como la elección de plantas tolerantes a la salinidad, porque la tolerancia a la sal varía entre las especies ornamentales (Cassaniti et al., 2012) e incluso puede variar de un cultivar a otro (Matheny y Clark, 1998). *Pelargonium x hortorum* (geranio zonal) se ha considerado como una especie con baja tolerancia a la salinidad, mientras que otras especies muy comerciales como *Pelargonium peltatum* se consideran moderadamente tolerantes a la salinidad (Grieve et al., 2011). El geranio zonal es una de las plantas herbáceas ornamentales que más se cultiva en el mundo, empleada para formar macizos floríferos al aire libre o simplemente como planta en maceta. Su gran popularidad entre los consumidores se debe a su vistosa y abundante floración rodeada de un espeso follaje verde (Lang y Trellinger, 2001), a sus diferentes patrones de hojas (muchas variedades tienen una banda oscura en el centro del limbo foliar paralela al margen de la hoja) y a su facilidad de cultivo porque se adapta fácilmente a diferentes condiciones ambientales (Abo El-Nil, 1990).

Una vez decidida la variedad a cultivar, el manejo del riego se convierte en una importante herramienta para reducir daños salinos. El aumento del volumen de drenaje, el mantenimiento de una humedad alta y constante en el sustrato y la mezcla de aguas de distinta calidad son actuaciones posibles en el riego salino (Gori et al, 2008; Bañón et al., 2011). Sin embargo, el incremento del volumen de agua aplicada buscando aumentar el lavado de sales para minimizar la salinidad en la zona de la raíz suele tener un alto coste económico y medioambiental (Katerji et al., 2004), y cualquier estrategia de riego que mejore la eficiencia de la lixiviación de sales reducirá ambos costes.

Para una buena gestión del riego salino se hace necesario considerar las necesidades de agua de las plantas y el nivel de salinidad del medio de cultivo al mismo tiempo. Por eso, la medición continua y actual de la CE de la solución del suelo y el contenido volumétrico de agua (θ) es fundamental para mejorar el manejo del agua de

riego y el control efectivo de la salinidad del suelo. La disponibilidad de sensores capaces de medir simultáneamente θ y CE en el mismo volumen de suelo ha abierto nuevas posibilidades para el control del riego y de la salinidad. Estos sensores pueden ensamblarse en registradores de datos para ser programados y actuar sobre los controladores que manejan el cabezal de riego. Cuanto más sofisticado sea el autómata, especialmente la capacidad de programación, mayor provecho se le sacaran a los sensores (Valdés et al., 2012a). El potencial de los sensores dieléctricos para la programación automática del riego está recogido en la literatura científica (Regalado et al., 2007; Zotarelli et al., 2009), pero se dispone de más información del uso práctico de sensores que miden sólo θ que de sensores que miden θ y CE. En los cultivos en maceta, estos sensores adquieren gran relevancia porque el volumen de sustrato disponible para las raíces es pequeño y los sustratos retienen mucha agua y a muy baja tensión, propiciado cambios bruscos de humedad en la maceta.

Uno sensor de reciente introducción que mide CE y humedad de suelo es el GS3 (Decagon Devices, Inc. 365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163-USA), que está diseñado específicamente para su uso en sustratos según el fabricante. GS3 es un sensor capacitivo que utiliza un campo electromagnético para medir la permitividad dieléctrica del medio. El θ es calculado a partir de la medida de permitividad del medio utilizando la ecuación de calibración del sensor, de ahí la importancia de realizar una correcta calibración. Tiene un rango de humedad de 0 a 100%. Además mide la temperatura del sustrato y la CE del medio (CEM), que es la que hace referencia a la CE del agua, suelo y aire combinado. Para medir la temperatura utiliza un termistor pequeño que se encuentra debajo de la cubierta de la sonda junto a una de las púa, con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ y $0,1^\circ\text{C}$ de resolución. Respecto a la CEM, el sensor la mide aplicando una corriente eléctrica alterna a dos electrodos y midiendo la resistencia entre ellos, con un rango de CE de 0 a 23 dSm-1. Con los valores de CE y permitividad del medio se estima la CE del agua de los poros (CEAP), que es el agua que las plantas pueden extraer del suelo.

Con los sensores de humedad y CE de suelo podemos conocer la CEAP en tiempo real y de forma continua, lo que les hace potencialmente adecuados para mantener umbrales de salinización en la solución del suelo bajo riego salino. En base a ello, nosotros formulamos la hipótesis de que fijando distintos umbrales de CEAP en el programador-controlador de riego podemos inducir distintas condiciones salinas de cultivo combinando el riego con agua salina y no salina. Sin embargo, el valor de la

CEAP obtenido por el autómata de riego es una estimación en base a la CEM y la permitividad que da el sensor (Hilhorst, 2000), y puede no coincidir con el valor real porque son diversos los aspectos que pueden influir sobre estos dos parámetros (Mualem y Friedman, 1991; Risler et al., 1996; Malicki y Walczak, 1999). Además, mientras que sí se dispone de información sobre el uso de sensores de humedad de suelo como herramienta para reducir el consumo de agua y ajustar la fertilización (Muñoz-Carpena et al., 2008; van Iersel et al., 2009; Zotarelli et al., 2011), hay cierta escasez de información sobre el uso práctico de sensores en el control de la salinización de cultivos, y tales estudios son necesarios para adecuar la gestión automática del riego salino en plantas ornamentales en maceta.

El objetivo de este trabajo fue valorar el potencial del sensor GS3 para mantener distintos niveles de salinización en la solución del sustrato, tomando como referencia un cultivo de geranio en maceta regado con agua salina, y disponiendo de agua no salina para controlar la salinidad. Esta valoración se hizo en términos de crecimiento y desarrollo de las plantas (producción de biomasa, dimensión y aspecto ornamental), de consumo de agua (salina, no salina y eficiencia del uso del agua), drenaje (CE y porcentaje), intercambio gaseoso (conductancia estomática y fotosíntesis) y de la estimación de la CEAP a lo largo del cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material vegetal

El material vegetal estudiado fue *Pelargonium x hortorum* L.H. Bailey, cultivar Master Idols Red que es una variedad provista de flores rojas y caracterizada por un fuerte crecimiento y desarrollo. Las plántulas procedían de esquejes enraizados y fueron adquiridas en un vivero comercial (Baberet & Blanc S.L.), de donde llegaron en bandejas de alvéolos de PVC con una altura aproximada entre 6 y 8 cm y con 6-7 hojas cada una de ellas (Foto 1).

Condiciones de cultivo

Las plántulas se trasplantaron el 4 de abril de 2013 a macetas de PVC de color negro con un diámetro de 17 cm y 15 cm de altura (2,5 l de volumen) y dos orificios de drenaje en su base, en un medio de cultivo de 40% turba rubia, 40% fibra de coco y 20% perlita (4:4:2). Tras el trasplante se inició la fase de establecimiento del cultivo durante tres semanas. En dicha fase de establecimiento todos los tratamientos fueron regados por igual, aplicando cinco riegos a cada tratamiento. Además se contaron las inflorescencias prematuras para favorecer el crecimiento de las hojas. Los tratamientos salinos comenzaron el 23 de abril.

El ensayo se llevó a cabo en un invernadero de 100 m² con cubierta de medio punto (12,5 m de largo x 8 m de ancho, 3.5 m de altura en el lado y 5,5 m en el centro), totalmente cubierto con láminas de policarbonato y ubicado en la finca experimental Tomás Ferro de la Universidad Politécnica de Cartagena (37° 35' N, 0° 59' W) (Foto 2).

Las condiciones de luminosidad, temperatura y humedad relativa fueron registradas por el sensor LOG32 (Foto 3) (Figura 1).

El control automatizado del riego se basa en la descripción de Nemali y van Iersel (2006), pero, en este caso se utilizó un CR1000 en lugar de un CR10X. El riego se basó en mediciones del contenido volumétrico de agua (CVA) del sustrato mediante sensores de humedad del suelo GS3 (Decagon Devices, Ltd., Pullman, WA). Los sensores GS3 se conectaron a un datalogger CR1000 (Campbell Scientific, Ltd, Logan, UT) en los puertos de control Rx. El CR1000 se programó para recoger datos cada minuto y para calcular el promedio y error estándar de las medidas del CVA del sustrato por

tratamiento. 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 introducen en una caja estanca, con un cargador y una batería de 12V para permitir el funcionamiento continuo del sistema en caso de corte eléctrico (Foto 4).

El θ del sustrato se obtuvo de las lecturas de la constante dieléctrica real del suelo bruta (x) usando nuestra propia calibración del sustrato ($\theta = -0,0003x^2 - 0,0288x - 0,0384$, con $R^2=0,974$), determinada mediante el procedimiento de Nemali et al. (2006), para las sondas GS3.

La sonda GS3 mide simultáneamente temperatura, permitividad eléctrica del medio y la CE del medio (CEM) en continuo. Se utilizó la medida de permitividad eléctrica del medio para calcular la CE de los poros (CEAP) según la fórmula del Hilhorst (2000), con el objetivo de intentar controlar el exceso de salinidad en el sustrato. El CR 1000 decidió el número de riegos, y cada riego tuvo lugar cuando el θ medio de cada tratamiento bajaba de $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, además se fijaron cuatro umbrales distintos de conductividad de los poros (CEAPfix) en los tratamientos bajo salinidad produciéndose un riego de lavado con agua de CE $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ cuando el umbral era superado. El promedio de la CEAP (CEAPm) de cada tratamiento se calculó tomando datos cada 10 minutos de CEAP entre cada evento de riego y realizando una media de los datos registrados, cuando el θ medio de cada tratamiento era menor de $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Si la CEAPm superaba el umbral de fijado (CEAPfix) en cada tratamiento automáticamente se accionaba el riego de lavado.

Para permitir que el CR1000 controlara el riego se necesitaron válvulas solenoides conectadas a un multiplicador de puertos multicontrol SMD-CD16D (Campbell Scientific, Ltd, Logan, UT), que accionaron los relés AZ8222-2C-5DME (Zettler Components Inc., Aliso Viejo, CA). Cada una de las válvulas solenoide y puerto de control de relé se asoció a un tanque de riego de 1000 l. En total se utilizaron 9 taques y el datalogger se instaló en el centro del invernadero. Cada planta tenía cuatro emisores con un caudal de 2 L h^{-1} (Foto 5), dos de ellos procedían de un tanque de agua salina con $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ y los otros dos de un tanque de agua con agua no salina de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$. Se utilizaron tres sensores GS3 por tratamiento, sumando un total de 15 sensores.

El ensayo, por tanto, se llevó a cabo con dos aguas de riego; agua de buena calidad $1,6 \text{ dSm}^{-1}$ y agua residual depurada salina con $5,5 \text{ dSm}^{-1}$. Se enviaron a analizar dos muestras de cada uno de los tipos de agua que se utilizaron en el experimento. Una

de ellas procedente del transvase Tajo-Segura y la otra fue agua residual depurada procedente de la EDAR de Los Alcázares. El análisis se llevo a cabo por el laboratorio agrícola KUDAM, S.L. La concentración de iones del agua del trasvase fue en mg l^{-1} : Na^+ (78,99) , K^+ (9,18) , Ca^{2+} (104,01) , Mg^{2+} (46,49) , cloruros (114,11) , sulfatos (248,71) , carbonatos (< 5) , bicarbonatos (189,1) , nitratos (15,93) , nitrógeno amoniacal ($< 0,10$) , fosfatos (1,67), boro (0,15) , y en $\mu\text{g l}^{-1}$: manganeso (< 10) , hierro (73,44) y zinc (77,30) . La concentración de iones del agua residual de Los Alcázares fue en mg l^{-1} : Na^+ (878,27) , K^+ (117,61) , Ca^{2+} (277,65) , Mg^{2+} (180,94), cloruros (1278,57) , sulfatos (751,25) , carbonatos (< 5) , bicarbonato (346,90) , nitratos (352,15) , nitrógeno amoniacal (13,68) , fosfato (64,46) , boro (1,14) , manganeso (1,35) , hierro (1,10) , zinc (0,29), cobre (0,11).

La fertilización la llevamos a cabo nosotros mismos teniendo en cuenta los análisis de agua realizados y las necesidades del cultivo. Las soluciones de nutritivas se realizaron mediante la mezcla de nitrato amónico $\text{NH}_4(\text{NO}_3)$, nitrato potásico KNO_3 y fosfato monopotásico KH_2PO_4 . Para neutralizar los bicarbonatos y mantener el pH entre 5,5 y 6 se utilizó ácido nítrico (HNO_3) al 54%, el abonó se calculó incrementando un $0,5 \text{ dSm}^{-1}$ la CE del agua de riego.

Las plantas, tras observar síntomas en las hojas (Foto 7) y tallos (Foto 8) de la presencia de una plaga se trataron contra *Cacyreus marshalli* (mariposa africana o taladro del geranio) con CONFIDOR (20% Imidacloprid) el 26 de junio de 2013 y una semana después, el 3 de julio se repitió el tratamiento con CLORPIRIFOS 48 %, más específico para insectos masticadores.

Calibración de las sondas GS3

Antes de realizar la calibración de las sondas GS3 el sustrato (~25 litros) se extiende sobre bandejas al aire libre durante varios días hasta que queda prácticamente seco. Un vaso de precipitados de 1240 ml se rellena con el suelo hasta su volumen total y se compacta poco a poco dando golpecitos contra el suelo. Se enrasa y se pesa, para seguidamente colocar las sondas GS3 una a una, de forma vertical y se toman los valores de las sondas. Se vacía el vaso y el sustrato se introduce en un sobre identificado y es colocado en una estufa de convección natural (modelo 2002471, JP Selecta, SA, Barcelona, España) a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante. Estos pasos se repiten once veces añadiendo en cada vez entre 200 y 500 ml de agua a todo el sustrato, homogeneizando

la mezcla agua-sustrato para obtener los diferentes puntos de la recta de calibrado. Se realiza una regresión lineal con las columnas de datos $Y = \text{contenido volumétrico de agua}$ y $x = \text{valores medios de permitividad del medio}$ ($y = ax^2 + bx + c$).

Tratamientos

El experimento consta de cinco tratamientos de riego: a) riego con agua de conductividad eléctrica de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ (Control); b) riego con agua salina de CE de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ cuando se superaba un umbral de CEAP de 5 dS m^{-1} se regaba con agua de CE de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ (T5); c) riego con agua salina de CE de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ cuando se superaba un umbral de CEAP de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ se regaba con agua de CE de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ (T5,5); d) riego con agua salina de CE de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ cuando se superaba un umbral de CEAP de 6 dS m^{-1} se regaba con agua de CE de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ (T6); e) riego con agua salina de CE de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ cuando se superaba un umbral de CEAP de $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ se regaba con agua de CE de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ (T6,5).

El volumen agua aportada en cada evento riego y evento de lavado fue el mismo para los todos los tratamientos.

Los tratamientos se iniciaron el 23 de abril de 2013 y finalizaron el 20 de julio de 2013. El fin del experimento se estableció el 22 de julio de 2013.

Medidas de consumo de agua, drenaje, eficiencia en el uso del agua de riego y evapotranspiración

El agua aplicada por la maceta fue obtenida del programa de riego, y estuvo verificado periódicamente colocando, en cada una de las mesas, dos goteros por tratamiento dentro de una botella. A partir del primer riego y durante todo el experimento se recogieron los drenajes de 4 plantas para cada tratamiento. El drenaje se recogió colocando una bandeja debajo de la maceta (Foto 9). Se midió el volumen de agua drenada, la CE y el pH mediante un equipo portátil ECTestr11 (Eutech Instruments Pte Ltd, Singapore, Singapore) y Oakton pHtestr 30 (Eutech Instruments Pte Ltd, Singapore, Singapore), respectivamente. La eficiencia en el uso del agua de riego (EUAR) fue expresada como la relación entre el peso seco aéreo de la planta y el agua aplicada (gPSI^{-1}). Las medidas de la evapotranspiración (ETP) se realizaron instalando balanzas programables (Semimicro, analítica Sartorius, Modelo 5201:

capacidad 5,2 Kg y legibilidad de 0,1 g) conectadas a un datalogger CR1000 que se programó para recoger los datos que marcaban las balanzas cada 30 minutos. Se instalaron un total de 5 balanzas, una para cada tratamiento, el 23 de abril de 2013. Encima de cada balanza se puso una bandeja de cloruro de polivinilo blanca, con orificios de drenaje, y sobre la bandeja se colocó una planta de cada tratamiento. (Foto 10).

Medidas de crecimiento y desarrollo

Durante la fase final del ensayo se contaron las inflorescencias maduras de las plantas de todas las mesas, tres veces a lo largo del cultivo, los días 18 de junio, 24 de junio y 10 de julio de 2013. Estas inflorescencias se contabilizaron y se introdujeron en sobres identificados y posteriormente fueron colocados en una estufa de convección natural (modelo 2002471, JP Selecta, SA, Barcelona, España) a 60 °C hasta peso constante, para determinar su peso seco.

Al final del experimento se midió: altura de la planta, anchura de la planta, número de hojas, número de hojas dañadas, número de hojas totales, número de inflorescencias, peso seco de las inflorescencias, peso seco de las hojas, peso seco del tallo, peso seco aéreo, área foliar, área del limbo, SPAD, índice de compactidad e índice de crecimiento radical en porcentaje. Todos estos parámetros se midieron en cinco plantas por tratamiento, excepto el SPAD que se midió en 10 plantas.

Para calcular el peso seco, el material vegetal se introdujo en sobres identificados y colocados en una estufa de convección natural (modelo 2002471, JP Selecta, SA, Barcelona, España) a 60 °C hasta peso constante. Por último, el peso seco se determinó pesando con una balanza de precisión serie ST GRAM (sensibilidad de 10 mg y g hasta 1200, Gram Precisión, SL, Barcelona, España). En el cálculo del peso seco se tuvieron en cuenta las inflorescencias recogidas a lo largo del ciclo.

El área foliar se determinó con un medidor de área foliar (LI-3100C, Biociencias LI-COR, Lincoln, NE) (Foto 11). El SPAD representa el contenido relativo de clorofila, midiéndose en las hojas con un medidor de clorofila Minolta SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón).

El SPAD se midió en el centro de las hojas (Foto 12), realizándose cuatro disparos por hoja y obteniéndose la media de estos disparos.

El índice de compactidad se determinó tomando dos fotografías de cada planta (una desde arriba, planta y otra de frente) y aplicando la siguiente fórmula: Índice de compactidad = área de contorno de plantas / $[(\pi/4) * (altura + anchura) / 2]^2$, donde la zona de contorno, y la altura y la anchura de la planta, se obtuvieron de la imagen utilizando el software de UTHSCSA Image Tool (University of Texas, San Antonio, TX) (Foto 13). Se calcularon dos índices para el perfil de la planta y para la proyección vertical, y el promedio de ambos se da como índice final de compactidad. Se realizó para cinco plantas por tratamiento. Cuanto más cerca está el resultado a la unidad, más compactas fueron las plantas.

Para el cálculo del porcentaje de raíz se realizaron cinco fotos a la parte radical de la planta, una a cada una de las cuatro caras y otra a la base de la maceta. Posteriormente se realizó la medida de este parámetro con el programa Assess 2.0 (Image Analysis Software for Plant Disease Quantification), el cual se basa en dar el porcentaje de blanco (raíz)/negro (sustrato) mediante contrastes (Foto 14).

Medida evolutiva del intercambio de gases

El 18 de julio de 2013 se realizaron medidas evolutivas de intercambio de gases de la planta. Las mediciones se realizaron a las 7, 10, 13, 16 y 19 horas.

La conductancia estomática (g_s) y la tasa de fotosíntesis neta (P_n) se midieron con un CIRAS-2 (PP Systems, Amesbury, MA) (foto 2.2.10 y 2.2.11). El caudal de la cámara fue de 200 ml min^{-1} con 350 ppm de CO_2 , el 100% de humedad relativa y $1500 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ del flujo de fotones fotosintéticos (Foto 15). Las mediciones se realizaron en cuatro plantas por tratamiento. El método utilizado y los parámetros determinados fueron los mismos descritos por Sheng et al. (2008).

Descripción de síntomas salinos visuales

Durante el ensayo se fotografiaron diferentes plantas y se identificaron posibles daños y diferencias causadas por el exceso de sales. La aparición de los primeros daños se observaron en junio (Foto 16) al igual que las primeras diferencias de tamaño y color entre tratamientos.

Diseño y análisis estadístico

Cada tratamiento estuvo compuesto de 32 macetas. Los experimentos se analizaron mediante un análisis de varianza simple usando el programa Statgraphics Plus 5.1, en donde el factor estudiado fue el tipo de tratamiento (Control, T5, T5,5, T6, T6,5). Las medias de los tratamientos fueron separadas con la Prueba de Rango Múltiple de LSD ($P < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros de riego y de consumo de agua

La mayor cantidad de agua aplicada corresponde al control (24,34 l/maceta), y como fue planificado toda fue de agua no salina (Tabla 1 y Fig. 2). Los tratamientos salinos redujeron claramente el agua aplicada respecto al control, con ahorros que van desde un 32% (T5) a un 63% (T6.5) (Tabla 1). El agua consumida por la planta (evapotranspiración) evolucionó de forma similar al agua aplicada, con curvas ligeramente inferiores a las curvas de agua aplicada (Fig. 3A y B). Señalar en la figura 3A que los tratamientos T6 y T6,5 presentaron una curva de evapotranspiración similar, aumentando la transpiración según se reduce el umbral de CEAP fijado.

Distinguiendo entre las dos calidades de aguas usadas, los tratamientos salinos recibieron similares volúmenes de agua salina y diferentes cantidades de agua no salina (Tabla 1 y Fig. 2). Conforme aumentó el umbral de CEAP fijado en los tratamientos, la aplicación de agua no salina disminuyó, ocasionando que los porcentajes de agua aplicada no salina respecto al agua aplicada total fueran del 63, 46, 39 y 30% para T5, T5,5, T6 y T6.5, respectivamente (Fig. 2). Lógicamente, un umbral de CEAP más bajo se alcanza antes que uno más alto, y esto propició que T5 recibiera más agua no salina que el resto de tratamientos.

Aunque todos los tratamientos recibieron similares cantidades de sales (similares volúmenes de agua salina), un aspecto muy importante es el cómo se distribuye la sal a lo largo del experimento. La recepción de un estrés salino en una estado fenológico temprano, puede marcar la evolución de las plantas, normalmente con un crecimiento y desarrollo más frenado y alterado (Kusaka et al, 2005; Fornes et al, 2007; Sánchez Blanco et al, 2009) En nuestro experimento, las plantas bajo T5 fueron las primeras en recibir agua no salina (Fig. 3C), y por tanto tardaron más en sufrir los efectos de la salinidad, consumiendo más agua y aumentando el número de riegos. El tratamiento T5,5 recibió agua no salina dos semanas más tarde que T5, y los tratamientos T6 y T6,5 un mes más tarde. El tratamiento T6,5 recibió agua no salina dos días antes que T6, por lo que podemos considerar que recibieron agua buena al mismo tiempo (Fig. 3C). De hecho, las curvas de evolución del agua aplicada y la evapotranspiración fueron muy similares (Figs. 3A y B).

Las diferencias en agua aplicada fueron producidas por el número de riegos aplicados, que en el control fueron 53 y en los tratamientos salinos variaron entre 20 y 38 (Tabla 1). Así, en el tratamiento T5, de los 38 riegos aplicados 24 fueron no salino, cifra que disminuyó conforme aumentaba el umbral de los tratamientos. Esto indica que las plantas bajo T5 recibieron un mayor número de riegos no salinos. El tratamiento T5,5 dio 23 riegos de los cuales 11 fueron no salino (casi la mitad), el T6 de 21 riegos 8 fueron no salino y el T6,5 de 20 riegos 5 fueron no salino (se redujeron a la cuarta parte).

Crecimiento y desarrollo

La salinidad redujo el tamaño de la planta, tanto en anchura como en altura (Tabla 3 y Foto 22). Las plantas más bajas fueron las de los tratamientos T6 y T6,5, con una altura media de 19,74 y 24,79 cm, respectivamente. De las plantas salinizadas, T5 y T5,5 produjeron las más altas con 29,4 y 25,25 cm, respectivamente. Algo similar ocurrió con la anchura de la planta (Tabla 3). El control produjo una anchura de 73,04 cm, mientras que T6,5 produjo plantas con 39,17 cm de anchura y las T6 de 41,95 cm. Los tratamientos T5,5 y T5 presentaron anchuras de 47,34 y 57,62 cm, respectivamente, significativamente diferentes. El efecto de la salinidad sobre el crecimiento de la planta se puede cuantificar de forma no destructiva registrando la disminución de su tamaño o la de sus diferentes órganos, incluyendo hojas, tallos y raíces (Navarro et al, 2007; Niu y Cabrera, 2010). Desde este punto de vista, en este ensayo podemos distinguir tres tamaños de planta, que de mayor a menor tamaño serían las plantas control, plantas T5 y las plantas bajo el resto de tratamientos salinos. Es decir, se distinguen tres niveles de crecimiento en volumen, que podrían relacionarse con distintos niveles de estrés salino.

El índice de compacidad estudiado indica la aproximación del volumen de planta a una esfera, siendo mayor conforme nos aproximamos al valor uno. Puede considerarse también, un buen indicador del grado de equilibrio del desarrollo espacial de las plantas. Sólo hubo diferencias significativas entre las plantas bajo T5 (resultaron más redondeadas) y las del resto de tratamientos (Tabla 3). Esto indica que en esta variedad unas condiciones de estrés salino moderado mejora la redondez de las plantas, y que niveles más estresantes de sal anulan este efecto. La compacidad es un parámetro muy relacionado con la calidad de algunas las plantas ornamentales en maceta, y puede ser un importante parámetro para evaluar la tolerancia a la sal de las ornamentales (Devitt et

al, 2005; Fox et al, 2005; Niu y Rodríguez, 2006a, 2006b; Niu et al, 2007; Zollinger et al. 2007; Miralles et al., 2011; Valdés et al., 2012b).

Todos los tratamientos salinos redujeron el peso seco aéreo de las plantas respecto del control (Tabla 3). Esta reducción fue mayor conforme aumentó el umbral de CEAP fijado en los tratamientos, lo que condujo a que las plantas regadas según el tratamiento T6,5 presentaran una fuerte reducción de peso seco aéreo respecto al control (un 65%). Los distintos valores de peso seco aéreo indican que a mayor rango de CEAP se tiende a una menor producción de biomasa. No obstante, al igual que indicamos con el tamaño de planta, podemos distinguir tres niveles de producción de biomasa seca, el control, T5 (41 g) y el resto de tratamientos salinos (entre 19 y 25 g) si obviamos las diferencias entre T5,5 y T6,5. La reducción del peso seco aéreo observada en este experimento afectó a hojas, tallos y flores, cuando comparamos cualquier tratamiento salino con el control (Tabla 3). Para las plantas ornamentales, la tolerancia a la sal se evalúa teniendo en cuenta la reducción del crecimiento general o de partes específicas (Villarino y Mattson, 2011; Maas, 1990; Pasternak y Malach, 1994, Niu y Cabrera, 2010). Se ha considerado que cuanto menor es la reducción de peso seco respecto a un control no salino, mayor es la tolerancia a condiciones de estrés salino (Fornes et al, 2007; Sánchez-Blanco et al., 1991).

La eficiencia en el uso del agua de riego aplicada (EUAR) indica la relación existente entre la biomasa generada y el agua utilizada para generarla. El tratamiento T5 produjo la mayor EUAR (2,21 gPS/l), aunque no fue significativamente diferente con el control y el T5.5. Por el lado opuesto, T6.6 tendió a la menor EUAR (1,72 gPS/l). Lógicamente hay que señalar, que la EUAR del control fue con agua buena, mientras que en el resto de tratamientos estamos hablando de una EUAR con aguas de dos calidades. Así, T5 tuvo la misma EUAR que el control, pero con una importante reducción de agua no salina (Fig. 2). Karlberg et al. (2006) sugiere que EUAR es más baja en condiciones de salinidad debido a que la planta destina los productos de la fotosíntesis a contrarrestar los efectos negativos de la salinidad debido a la toxicidad de iones.

El número de inflorescencias fue reducido por todos los tratamientos de salinidad respecto al control, apreciándose una tendencia de disminución conforme aumenta el umbral de la CEAP de los tratamientos (Tabla 3). Estadísticamente, el tratamiento T5 fue el tratamiento salino que mantuvo el mayor número de inflorescencias. El número de hojas por planta fue reducido por todos los tratamientos salinos, con una reducción

alrededor del 45% para T6 y T6,5. Los otros dos tratamientos salinos (T5 y T5,5) produjeron reducciones menos drásticas, y ambos fueron significativamente diferentes al control y entre sí.

Es en el área foliar donde se aprecia más claramente los tres niveles de crecimiento propiciados por los tratamientos que anteriormente hemos comentado al estudiar el tamaño y el peso seco aéreo (Tabla 3). Los tratamientos T5,5, T6 y T6,5 redujeron entre un 52% y un 58% el área foliar del control, mientras que el tratamiento T5 se diferenció de estos tres y del control, con una reducción del 23% respecto al control (Tabla 3). Esta reducción de área foliar es una respuesta al déficit hídrico propiciado por la sal, basada en la reducción de la superficie de transpiración de muchas especies como fue observado en *Nerium oleander* (Bañón et al., 2006) y *Gaura lindheimeri* (Burnett y van Iersel, 2008). El área foliar y el número de hojas por planta determinan el tamaño de la hoja (área del limbo), y en nuestro caso, lo más destacado fue que T5 mantuvo el mismo tamaño de hoja que el control (Tabla 3). Así, este tratamiento tuvo menos hojas que el control pero de igual tamaño, lo que justifica la menor área foliar. La reducción de la elongación y la división celular reduce el tamaño final de las hojas, resultando en una disminución del área foliar (Alarcón et al, 1993; Munns y Tester, 2008).

Para las plantas ornamentales, la tolerancia a la sal se evalúa también valorando el aspecto estético, y el grado de presencia de daños foliares influye decisivamente en éste (Bañón et al., 2011). El control presentó aproximadamente un 14% de hojas dañadas, porcentaje inferior al resto de tratamientos (Tabla 3). Este porcentaje puede parecer alto para un control, pero la tendencia natural del geranio zonal es a producir hojas basales con daños necróticos (Foto 16). Dentro de los tratamientos salinos, T5, T5,5 y T6 fueron estadísticamente igual, produciendo aproximadamente un 3% más de hojas dañadas respecto al control. Este porcentaje fue mayor en el tratamiento T6,5 (8%), que sí presentó diferencias significativas respecto al resto de tratamientos. Así, la salinidad no fue muy decisiva para necrosar hojas, con excepción del tratamiento T6,5.

El contenido relativo de clorofila foliar (SPAD) se ha considerado como un índice del verdor de las hojas (Monge y Bugbee, 1992), y por lo tanto es un buen indicador de la presencia de clorosis. Sólo los tratamientos T6 y T6,5 redujeron los valores SPAD respecto del valor del control, con una caída del 9 y del 13%, respectivamente (Tabla 3). Esto indica que las hojas de estas plantas tuvieron una mayor degradación de la clorofila que las hojas del resto de tratamientos, lo que está acorde con los tonos cloróticos

foliares observados visualmente. Se ha demostrado que una baja o moderada salinidad estimula la degradación de la clorofila, mientras que mayores concentraciones de sal afectan a la síntesis de clorofila (Santos, 2004). Cabrera (2009) y Niu et al. (2007) encontraron una reducción significativa de las lecturas SPAD en hojas de distintas plantas herbáceas y leñosas paisajísticas conforme aumentaba el estrés salino. Igualmente, estos autores observaron que las especies sensibles a la salinidad presentaban valores más pequeños de SPAD, lo que nos hace sugerir que las plantas bajo los tratamientos T6 y T6,5 fueron las más estresadas por la sal.

Ningún tratamiento produjo cambios en nuestro índice de crecimiento radical, lo que indica, que a diferencia de lo que ocurrió en los órganos aéreos, el desarrollo de las raíces no se vio aparentemente afectado negativamente por la salinidad. La salinidad puede inhibir el crecimiento de raíces (Wild, 1988), con una reducción en la longitud y la masa radical (Shannon y Grieve, 1999) y de su funcionalidad. Aunque en general, la reducción del crecimiento en los tallos suele ser mayor que en las raíces (Munns, 2002; Shannon et al, 1994), que es lo que ha sido observado en este experimento.

Intercambio gaseoso en la planta

Se determinó el intercambio gaseoso al final del periodo de cultivo con el objetivo de conocer el control estomático y la actividad fotosintética de las plantas salinizadas respecto a las plantas regadas con agua no salina (control). En la evolución diaria de la conductancia estomática de las plantas control se observa un claro aumento de la apertura estomática desde las 7 a las 10 horas del día (Fig. 6A), consecuencia del aumento de la luz y de la temperatura hacia valores inductivos del crecimiento. A partir de este momento se produce una reducción de la apertura estomática, probablemente consecuencia de un aumento excesivo de la temperatura ambiente (pasamos de 30 a 40°C; ver figura 7) que ocasiona mayores condiciones de estrés para la planta. El comportamiento de la conductancia estomática en las plantas control está estrechamente relacionado con la actividad fotosintética, como podemos observar al considerar los valores de tasa de fotosíntesis (Fig. 6B).

Al estudiar la evolución diaria de la conductancia estomática en los tratamientos salinos encontramos una mayor variabilidad en los valores horarios de conductancia de dichos tratamientos con respecto a los valores del control (Figs. 6A, C, E y G), siendo T6 el tratamiento que más expresó este comportamiento (Fig. 6E).

La evolución de la conductancia estomática de las plantas bajo T5 marcó una tendencia diferente a la del resto de tratamientos salinos, con valores superiores al control (Fig. 6A). Sin embargo, desde el punto de vista estadístico la evolución de conductancia en T5 resultó similar a la del control, lo que guarda consonancia con el hecho de que las curvas de evolución de la fotosíntesis fueran similares en ambos casos (Fig. 6B). El tratamiento T6 mostró estadísticamente un comportamiento similar en conductancia y fotosíntesis al de T5, pero como apuntamos anteriormente, con valores más variables (Fig. 6E).

La evolución de la conductancia estomática a lo largo del día en los tratamientos T5.5 y T6.5 fue similar (Figs. 6C y G). En estas plantas la conductancia tiende a ser más constante a lo largo del día, lo cual fue debido a una apertura estomática más limitada. Las mayores diferencias para las plantas T5.5 y T6.5 con respecto al control se sitúan alrededor de las 10 h, cuando las plantas disponen de las condiciones climáticas más adecuadas para su crecimiento y desarrollo (entre las 7 y las 10 h la temperatura pasa de 20°C a 30 °C; ver figura 7). Por tanto, en ausencia de un estrés climático y si consideramos que las plantas responden a la salinidad con una disminución de la apertura estomática (Gómez-Bellot et al., 2013), podemos sugerir que las plantas bajo los tratamientos T5.5 y T6.5 percibieron el estrés osmótico producido por la salinidad y respondieron con una menor apertura para evitar una mayor pérdida de agua por los estomas.

En general, la evolución de la tasa de fotosíntesis de los tratamientos salinos parece, al igual que en el control, determinada por la evolución de la conductancia estomática (Figs. 6B, D, F y H). Flexas et al. (2004) y Chaves et al. (2009) sugirieron que el cierre estomático es la causa principal de la reducción de la fotosíntesis. Estos autores apuntan a que el estrés osmótico podría afectar a la difusión del CO₂ en las hojas a través de reducciones en la conductancia estomática. Sin embargo, la disminución de la fotosíntesis puede depender también de factores no estomáticos, y aunque nuestros resultados muestran la estrecha relación entre la conductancia estomática y la tasa de fotosíntesis, la acumulación de elementos tóxicos como el sodio y el cloruro en las hojas al final del experimento, podría haber contribuido también a la caída de la fotosíntesis en las plantas bajo los tratamientos salinos, provocando una importante reducción de biomasa seca aérea. Las reducciones de crecimiento y de intercambio gaseoso en las plantas de geranio en condiciones de estrés indican una estrecha relación entre ambos parámetros (Sanchez-Blanco et al., 2009).

Porcentaje de drenaje y CE del drenaje y del agua de los poros

El porcentaje de drenaje fue mayor en las plantas salinizadas respecto al control, que sólo produjeron un 5,17%. En las plantas bajo riego salino, el porcentaje de drenaje aumentaba conforme lo hacía el umbral de CEAP fijado en cada tratamiento (Tabla 2). Esta distribución del porcentaje entre los tratamientos estudiados podría relacionarse con el número de riegos aplicados, porque una disminución del número de riegos aplicados se correspondía con un aumento del porcentaje de drenaje (Tablas 1 y 2). Esto indicaría variaciones del porcentaje de drenaje entre los riegos en cada tratamiento. Probablemente, la reducción del desarrollo foliar y una menor apertura estomática de las plantas más salinizadas (Tabla 3 y Fig. 6) ayuda a explicar el incremento del porcentaje de drenaje. Las plantas control tendrían mayor poder de desecación del sustrato al estar más desarrolladas, lo que es muy importante cuando la distribución de la humedad en el sustrato no es del todo homogénea como ocurre en el riego por goteo. Así, las plantas menos salinizadas desecaría mejor el sustrato y el agua del riego siguiente quedaría más retenida en el sustrato, reduciéndose el drenaje. Sin embargo, el sustrato salinizado se encuentra mejor humedecido ya que la sal retiene más humedad y la planta consume menos agua (menor desarrollo y actividad fisiológica), lo que provoca que los sustratos salinos tengan más drenaje.

La CE del drenaje (CED) media a lo largo del experimento en las plantas control fue inferior a la de las plantas regadas con agua salina, pero los distintos tratamientos salinos no produjeron diferencias significativas entre sí (Tabla 2). En la CED pueden influir varios factores, principalmente el porcentaje de drenaje y la calidad del agua aplicada. En los tratamientos salinos, un incremento del umbral de CEAP condujo a un incremento del porcentaje de drenaje y a una reducción del número de riegos no salinos, mientras que el número de riegos con agua salina fue similar en todos los tratamientos (Fig. 2). Esto puede explicar que la CED fuera similar en todos los tratamientos salinos; es decir, una reducción del aporte de agua buena (no salina) fue compensada por una mayor actividad de lavado (mayor porcentaje de drenaje).

El promedio de la CEAP registradas por los sensores durante todo el ciclo de cultivo en el control fue de $3,58 \text{ dSm}^{-1}$, oscilando entre $4,78$ y $5,34 \text{ dSm}^{-1}$ en los tratamientos salinos (Tabla 2 y Figura 4). Sin embargo, estadísticamente no hubo diferencias entre ninguno de los tratamientos salinos, a pesar de que los umbrales de

CEAP de referencia programados fueron diferentes. Esto indicaría que las condiciones salinas fueron similares en todas las plantas bajo riego salino, pero esto no parece cierto a la vista de los resultados vistos anteriormente. La tabla 2 refleja un valor medio de los tres sensores utilizados en cada tratamiento, y el análisis estadístico está en función de la variación entre estos sensores. La figura 4 recoge los valores medios de CEAP y la variabilidad de la CEAP a lo largo del periodo experimental (medidas de CEAP cada media hora). Observamos, que conforme aumentó el umbral de CEAP aumentó la variabilidad. Probablemente, el número de riegos no salinos tendió a estabilizar la distribución de la CEAP porque cuantos menos riegos no salinos se aplicaron más variabilidad tuvo la CEAP (ver tabla 1 y figura 4). Una mayor variabilidad de la CEAP durante el periodo de cultivo implica que se alcanzan valores de CEAP más extremos que cuando la variabilidad es baja, lo que puede agravar las condiciones salinas en el sustrato.

Evolución de las conductividades eléctricas

En la figura 5 se muestran la evolución del CVA, CEAP y CEM en los diferentes tratamientos durante tres semanas del periodo experimental (fase de floración), recogiendo riegos salinos y no salinos. Los datos mostrados para cada tratamiento son la media de tres sondas. En todos los tratamientos se aprecia que el CVA no baja del $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ya que este valor fue fijado para activar el riego de forma automática. El control fue regado prácticamente todos los días durante el periodo recogido en la figura 5 (22 riegos), mientras que el número de riegos en los tratamientos salinos fue de 14 (T5), 6 (T5.5), 5 (T6) y 4 (T6,5). En la figura 5B observamos como el tratamiento T5 presenta continuos riegos de lavados (agua no salina), que fueron iniciados anteriormente (Fig. 3). Hasta el inicio del periodo estudiado en la figura 5, el T5,5 solamente dio un riego no salino, y los tratamientos T6 y T6,5 iniciaron los riegos no salino en este periodo (Fig. 3).

En el control, cuando el CVA llega a 0.35 se activa el riego, aumentando rápidamente el CVA en el sustrato (Fig. 5A). Posteriormente se observa un descenso brusco de la curva (casi verticalmente) coincidiendo con la fase de drenaje del sustrato. A continuación el CVA sigue bajando debido al consumo de agua de la planta y la evaporación del sustrato. Dependiendo de la hora del día en el que se produzca el riego, las curvas de humedad se comportan de diferente manera, si el riego es a primera hora

de la mañana, la curva descenderá bruscamente; sin embargo, si el riego se produce por la noche el descenso de humedad será menor. La evolución del CVA en los tratamientos salinos tiene un comportamiento diferente al control, ya en condiciones salinas la pérdida de agua tras cada riego es más lenta porque la planta transpira menos (Fig. 3A) al tener menos superficie foliar (Tabla 3) y menor conductancia estomática (Fig. 6), y porque el sustrato salinizado evapora menos al retener mejor el agua. Esto hace que los riegos sean más espaciados (Fig. 5). Bajo salinidad la estabilidad de la curva de CVA durante la noche observada en el control no se produce, y la curva continúa cayendo aunque con una pendiente menor que durante el día. Esto nos está indicando que el sensor detecta un pequeño consumo de agua durante la noche, y que la salinidad lo fomenta. Tras la noche, y un par de horas antes del mediodía, se produce un pequeño repunte del contenido de humedad. Este podría estar asociado a la influencia de la temperatura sobre la permitividad del medio bajo condiciones salinas, subiéndola, porque este efecto se repite en todos los riegos en el mismo momento (poco antes del mediodía, donde el cambio de temperatura es más brusco) y de forma independiente del nivel de humedad. Pero rápidamente este efecto desaparece, probablemente porque la reducción de la humedad en el sustrato por la temperatura anula el efecto de la temperatura sobre la permitividad del medio.

Bajo condiciones no salinas la CEM permanece más o menos estable entre riegos (Fig. 5A). Justo después del riego es cuando aumenta, para empezar a caer con cierta intensidad al principio y luego ir cayendo poco a poco conforme se deseca el sustrato. Cuando aumentan la salinidad (Figs. 5B, C, D y E), los valores de CEM son más altos y la evolución de la curva de CEM entre riegos no es tan estable como en el control, presentando pequeñas irregularidades que parecen estar relacionadas con cambios en la pendiente de la curva de humedad (bajadas más o menos pronunciadas de humedad). En la figura 5 observamos que conforme aumenta el umbral de CEAP en los tratamientos aumenta la CEM. Los riegos no salinos se aprecian mejor en la evolución de la CEM que en la evolución de la CEAP, porque cuando se produce un riego con agua buena el máximo de CEM es más bajo que en los riegos salinos (ver asteriscos en figura 5).

En todos los tratamientos, la CEAP disminuye tras el riego, por la dilución y lavado de las sales presentes en el sustrato. En el control, la CEAP disminuye tras el riego, seguidamente aumenta y se mantiene prácticamente constante o con un ligero aumento de la pendiente. Cuando se produce un descenso de la humedad en el sustrato se origina un aumento de la CEAP, teniendo el valor máximo antes de cada riego (Fig.

5A). La evolución de la CEAP en los tratamientos salinos fue más inestable (mayor variabilidad) que en el control, lo que se aprecia muy bien incluso cuando comparamos las curvas de CEAP de T5 y el control (Figs. 5A y B). Si comparamos T5 (Fig. 5B) con la del resto de tratamientos salinos (Figs. 5C, D y E), observamos una menor variabilidad en el primero. La variabilidad de la CEAP en los tratamientos salinos fue observada también en la figura 4. Entre los tratamientos T5,5, T6 y T6,5 las diferencias en variabilidad no están tan claras. Sin embargo, no es descartable que la salinidad fomentara más variabilidad en la CEAP porque con las mismas condiciones de humedad en el sustrato, una bajada de esta producirá una mayor subida de CEAP en un sustrato con más sal frente a otro con menos sal (cambios más bruscos).

CONCLUSIONES

Bajo riego dual (riego con $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ y lavado con $1,6 \text{ dS m}^{-1}$), la premisa inicial de que fijando distintos umbrales de CEAP en el programador de un sistema de riego con sensores de conductividad eléctrica y humedad del suelo (GS3-Decagon) podría mantenerse diferentes niveles de salinización en el sustrato, resultó parcialmente válida en este trabajo. Cuando comparamos el control con los dos umbrales de CEAP más bajos, 5 y $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, esta premisa fue confirmada. Sin embargo, cuando consideramos también los tratamientos que fijan una CEAP de 6 y $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ esto no ocurrió, porque las plantas regadas según los tratamientos T5.5, T6 y T6.5 presentaron parámetros de crecimiento y desarrollo más o menos similares. Esto sugiere que bajo las condiciones de este experimento no es recomendable fijar en el programador umbrales de CEAP superiores a $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, valor que en este caso coincidió con la CE del agua de riego salina aplicada.

Las plantas de geranio bajo el tratamiento T5 presentaron un aspecto ornamental adecuado para su comercialización, y la diferencia más notable con las plantas control fue una disminución del tamaño de planta. Comparado con el control, este tratamiento redujo claramente el agua aplicada, reducción que fue aproximadamente del 50% cuando nos referimos a agua no salina. Las plantas bajo el resto de tratamientos salinos quedaron excesivamente enanas y con un aspecto visual pobre, reduciendo fuertemente el gasto de agua por la enanización de las plantas.

El valor promedio de CEAP calculado por el automático a lo largo del ciclo de cultivo no resultó muy preciso como indicador de las condiciones salinas que soportan las plantas en la solución del sustrato, especialmente cuando el umbral de la CEAP fijada fue igual o mayor a $5,5 \text{ dS m}^{-1}$. Parece que la variabilidad de los valores puntuales de CEAP que estima el automático durante el cultivo influye sobre estas condiciones, y podemos relacionar una mayor variabilidad con peores condiciones salinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abo El-Nil, MM (1990). Geranium (Pelargonium). En: Handbook of Plant Cell Culture Vol. 5. Ornamental species. Ed. Philip V. Ammirato DAE, William R. Sharp, Yashpal P.S. Bajaj. McGrawHill, NewYork. USA. pp. 439-460
- Agricultural Salinity Assessment and Management. 2011. Edited by Kenneth K. Tanji and Wesley W. Wallender. In Plant salt tolerance- chapter 13. Catherine M. Grieve; Stephen R. Grattan, Eugene V. Maas. Published by American Society of Civil Engineers.
- Alarcón, J.J., Sánchez-Blanco, M.J., Bolarín, M.C., Torrecillas, A. 1993. Water relations and osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *L. pennelli* during short-term salt exposure and recovery. *Physiologia Plantarum*, 89: 441-447.
- Azza Mazher, A.M., Fatma El-Quesni, E.M., Farahat, M.M., 2007. Responses of ornamental plants and woody trees to salinity. *World Journal of Agricultural Science* 3(3): 386-395.
- Bañón, S., Ochoa, J., Franco, J.A., Alarcón, J.J., Sánchez-Blanco, M.J., 2006. Hardening of oleander seedlings by deficit irrigation and low air humidity. *Environmental and Experimental Botany*, 56, 36-43.
- Bañón, S., Miralles, J., Ochoa, J., Franco, J. A., and Sánchez-Blanco, M. J., 2011. Effects of diluted and undiluted treated wastewater on the growth, physiological aspects and visual quality of potted lantana and polygala plants. *Scientia Horticulturae* 129, 869-876.
- Bañón S., Miralles J., Ochoa J., Sanchez-Blanco M.J., 2012. The effect of salinity and high boron on growth, photosynthetic activity and mineral contents of two ornamental shrubs. *Hort. Sci. (Prague)* 39: 188-194.
- Brar, M.S.; Mahli, S.S., Singh, A.P., Arora, C.L. y Gill, K.S. (2000). Sewage water irrigation effects on some potentially toxic trace elements in soils and potato plants in northwestern India. *Canadian Journal of Soil Science*, 80: 465-71.
- Burnett, S.E., van Iersel, M.W., 2008. Morphology and irrigation efficiency of *Gaura lindheimeri* grown with capacitance sensor-controlled irrigation. *HortScience* 43, 1555-1560.

- Cabrera, R.I. 2009. Revisiting the Salinity Tolerance of Crapeomyrtles (*Lagerstroemia* spp.) *Arboriculture y Urban Forestry* 2009. 35(3): 129–134
- Cassaniti, C., Romano, D.I. Flowers, T.J. 2012. The Response of Ornamental Plants to Saline Irrigation Water. In: *Irrigation-Water Management, Pollution and Alternative Strategies*, Show, K.Y. and X. Guo (Ed.). InTech, Croatia.
- Cassaniti, A., D. Romano, D. I., Hop, M.E.C.M., Flowers, T.J. 2013. Growing floricultural crops with brackish water. *Environmental and Experimental Botany* 92: 165– 175.
- Chaves, M. M., Flexas, J., Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress. Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. London 103:551–560.
- Devitt, D.A., Morris, R.L. y Fenstermaker, L.K., 2005. Foliar damage, spectral reflectance, and tissue ion concentrations of trees sprinkle irrigated with waters of similar salinity but different chemical composition. *HortScience* 40: 819-826.
- Feigin, A.; Ravina, I. y Shalhevet, J. (1991). Irrigation with treated sewage effluent. *Management for Environmental Protection. Advanced Series in Agricultural Sciences* 17, pp 224, Springer-Verla.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., Sharkey, T. D. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C₃ Plants. *Plant Biology*, 6:269–279.
- Fornes F, Belda RM, Carrión C, Noguera V, García-Agustín P, Aba M, 2007. Pre-conditioning ornamental plants to drought by means of saline water irrigation as related to salinity tolerance. *Sci Hortic* 113: 52-59.
- Fox, L.J., Grose, N., Appleton, B.L., Donohue, S.J. 2005. Evaluation of treated effluent as an irrigation source for landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture* 23: 174-178.
- Gómez-Bellot, M.J., Álvarez, S., Castillo, M. Bañón, S. Ortuño, M. F., Sánchez-Blanco, M. J. 2013. Physiological mechanisms involved in the recovery of euonymus and laurustinus subjected to saline waters. *Agricultural Water Management* 128: 131-139.
- Gómez-Bellot, M. J., Álvarez, S., Castillo, M. Bañón, S. Ortuño, M. F., Sánchez-Blanco, M. J. 2013. Water Relations, Nutrient Content and Developmental Responses of Euonymus Plants Irrigated with Water of Different Degrees of Salinity and Quality. *Journal of Plant Research* 126 (4): 567-576.

- Gori, R., Lubello, C., Ferrini, F., Nicese, F.P., Coppini, E., 2008. Reuse of industrial wastewater for the irrigation of ornamental plants. *Water Science and Technology* 57, 883–889.
- Hilhorst, M.A., 2000. A pore water conductivity sensor. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1922-1925.
- Huang, Z.T., Cox, D.A. 1988. Salinity effects on annual bedding plants in a peat-perlite medium and solution culture. *Journal of Plant Nutrition* 11:145–159.
- Karlberg, L., Ben-Gal, A., Jansson, P.-E., Shani, U., 2006. Modelling transpiration and growth in salinity-stressed tomato under different climatic conditions. *Ecol. Model.* 190, 15-40.
- Katerji N., van Hoorn J. W., Hamdy A., Mastrorilli M., 2004. Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. *Agric. Water Manage.*, 65, 95-101
- Kusaka M, Ohta M, Fujimura T, 2005. Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet. *Physiol Plant* 125: 474-489.
- Lang, H., Trellinger, K. 2001. Geraniums. En: Gaston M, Konjoian P, Kunkle L, Wilt M (Eds.), *Tips on regulating growth of floriculture crops*. Ohio Florists' Associations Services Inc., Columbus, USA, pp.88-95.
- Maas E.V., 1990. Crop salt tolerance. En: *Agricultural salinity assessment and managements*. K. K. Tanji ed. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice n.º 71. Nueva York, pp. 262-304.
- Malicki, M.A., Walczak, R.T., 1999. Evaluating soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity. *European Journal of Soil Science* 50, 505-514.
- Matheny, N. and J. Clark. 1998. Managing landscapes using recycled water. In: *The Landscape Below Ground II*. D. Neely and G. Watson, editors. International Society of Arboriculture. Champaign IL. Pp 246 – 265.
- Miralles, J., Valdés, R., Franco, J.A., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón, S. 2011. Irrigation of hydrangea with saline reclaimed wastewater: effects of fresh water flushing. VII International Symposium on New Floricultural Crops. Scientific Program and Abstracts, p. 61. De la 22 al 25 noviembre de 2011, Buenos Aires, Argentina.
- Monge, O.A., Bugbee, B., 1992. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: a comparison of two types of meters. *HortScience* 27: 69–71.

- Morales, M.A., Olmos, E., Torrecillas, A., Sánchez-Blanco, M.J., Alarcón, J.J., 2001. Differences in water relations, leaf ion accumulation and excretion rates between cultivated and wild species of *Limonium* sp. grown in conditions of saline stress. *Flora* 196, 345–352.
- Mualem, Y., Friedman S. P. 1991. Theoretical Prediction of Electrical Conductivity in Saturated and Unsaturated Soil. *Water Resources. Research.*, 27(10), 2771–2777
- Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25, 239-250.
- Munns, R., Tester, M. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. Vol. 59: 651-681.
- Muñoz-Carpena, R., A. Ritter, D.D. Bosch, B. Schaffer y T.L. Potter, 2008. Summer cover crop impacts on soil percolation and nitrogen leaching from a winter corn field. *Agricultural Water Management* 95, 633-644
- Navarro, A., Bañón, S., Olmos, E., Sánchez-Blanco, M.J. 2007. Effects of sodium chloride on water potential components, hydraulic conductivity, gas exchange and leaf ultrastructure of *Arbutus unedo* plants. *Plant Science* 172:473–480.
- Nemali, K., van Iersel, M., 2006. An automated system for controlling drought stress and irrigation in potted plants. *Scientia Horticulturae* 110, 292-297.
- Niu, G., Rodriguez, D.S. 2006a. Relative salt tolerance of five herbaceous perennials, *HortScience* 41: 1493-1497.
- Niu, G., Rodriguez, D.S. 2006b. Relative salt tolerance of selected herbaceous perennials and groundcovers, *Scientia Horticulturae* 110: 352-358.
- Niu, G., Rodriguez, D.S., Aguiniga, L., 2007. Growth and landscape performance of ten herbaceous species in response to saline water irrigation. *Journal of Environmental Horticulture* 25: 204-210.
- Niu G, Cabrera RI, 2010. Growth and physiological responses of landscape plants to saline water irrigation – a review. *HortScience* 45(11): 605-1609.
- Parsons, L.R., Wheaton, T.A., Castle, W.S., 2001. High application rates of reclaimed water benefits citrus tree growth and fruit production. *HortScience* 36, 1273–1277.
- Pasternak, D., De Malach, Y. 1994. Crop irrigation with saline water. En: M. Pessarakli (ed.). *Handbook of plant and crop stress*. Marcel Dekker Inc. New York. pp. 599-62.

- Pedrero, F., Alarcón, J.J., 2009. Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. *Desalination* 246, 631–639.
- Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J.J., Koukoulakis, P., Asano, T., 2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture – review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management* 97, 1233–1241.
- Regalado, C.M.; Ritter, A.; Rodríguez-González, R.M. 2007. Performance of the commercial wet capacitance sensor as compared with time domain reflectometry in volcanic soils. *Vadose Zone J.*, 6: 244-254.
- Risler P. D., Wraith J. M., Gaber H. M. 1996. Solute transport under transient flow conditions estimated using time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60, 1297-1305.
- Sánchez-Blanco, M.J., Bolarín, M.C., Alarcón, J.J., Torrecillas, A. 1991. Salinity effects on water relations in *Lycopersicon esculentum* and its wild salt-tolerant relative species *L. pennellii*. *Physiol. Plant.*, 83. 269-274.
- Sánchez-Blanco MJ, Álvarez, S. Navarro A. Bañón, S. 2009. Changes in leaf water relations, gas exchange, growth and flowering quality in potted geranium plants irrigated with different water regimes. *Journal of Plant Physiology* 166: 467—476
- Santos, C.V. 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae* 103:93–99.
- Shannon, M. C., Grieve, C. M., and Francois, L. E. (1994). Whole-plant response to salinity. In “Plant-Environment Interactions” (R. E. Wilkinson, Ed.), pp. 199-244. Dekker, New York.
- Shannon, M.C. y Grieve, C.M. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity, *Scientia Horticulturae* 78: 5-38.
- Sheng, M., Tang, M., Chen, H., Yang, B., Zhang, F., Huang, Y., 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants undersalt stress. *Mycorrhiza* 18, 287–296.
- Valdés, R., Miralles, J., Ochoa, J., Franco, J.A., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón, S., 2012a. Prueba de sondas para medir conductividad y humedad del sustrato en maceta en condiciones salinas. *Actas del XI Simposio Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas*, 222-225.
- Valdés, R., Miralles, J. Ochoa, J., Sánchez-Blanco, M. J. Bañón S. 2012b. Saline reclaimed wastewater can be used to produce potted weeping fig (*Ficus*

- benjamina* L.) with minimal effects on plant quality. Spanish Journal of Agricultural Research 10(4), 1167-1175
- van Iersel, M., Seymour, R.M., Chappell, M., Watson, F. and Dove, S. 2009. Soil moisture sensor-based irrigation reduces water use and nutrient leaching in a commercial nursery. Proc. Southern Nursery Assoc. Res. Conf. 54:17-21.
- Villarino, G.H., Mattson, N. S..2011. Assessing tolerance to sodium chloride salinity in fourteen floriculture species. HortTechnology 21(5):539-545.
- Wild, A. 1988. Russell's soil conditions and plant growth. 11th Ed./Edited by Alan Wild New York : Longman Scientific y Technical
- Wu L, Dodge L, 2005. Landscape salt tolerance selection guide for recycled water irrigation. A special report for the Elvenia J. Slosson Endowment Fund, Univ California, Davis, CA, USA. Disponible en: <http://slosson.ucdavis.edu/files/66355.pdf> [12 Septiembre 2013].
- Yadav, R.K., Goyal, B., Sharma, R.K., Dubey, S.K., Minhas, P.S., 2002. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water-a case study. Environ. Int. 28, 481-486.
- Yermiyahu,U., Ben-Gal,A., Keren, R.,Reid, R.J., 2008. Combinedeffectof salinity and excess boron on plant growth and yield. Plant Soil 304, 73–87
- Zollinger, N., Koenig, R., Cerny-Koenig, T., Kjelgren, R., 2007. Relative salinity tolerance of intermountain Western United States native herbaceous perennials. HortScience 42, 529-534.
- Zotarelli, L., Dukes, M.D., Scholberg, J.M.S., Femminella, K., Muñoz-Carpena, R. 2011. Irrigation scheduling for green bell peppers using capacitance soil moisture sensors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 137 (2):73-81.

Tabla 1.- Valores de las medidas de consumo y riego

Parámetros	Tratamientos				
	Control	5	5,5	6	6,5
Agua aplicada (l/maceta)	24,34	16,50	10,64	9,58	9,02
Agua aplicada CE 1,6 dS m ⁻¹ (l/maceta)	24,34	10,35	4,92	3,76	2,71
Agua aplicada CE 5,5 dS m ⁻¹ (l/maceta)	0	6,15	5,72	5,83	6,31
Número de riegos totales	53	38	23	21	20
Nº de riegos con agua CE 1,6 dS m ⁻¹	53	24	11	8	5
Nº de riegos con agua CE 5,5 dS m ⁻¹	-	14	12	13	15

Tabla 2.- Valores de las medidas de drenaje y conductividad eléctrica

Parámetros	Tratamientos				
	Control	5	5,5	6	6,5
% drenaje	5,17a	8,70b	9,78c	12,08cd	16,22d
Promedio de CED (dS m ⁻¹)	6,62a	8,43b	8,53b	7,69b	8,09b
Promedio de CEAP (dS m ⁻¹)	3,58a	4,78b	5,26b	5,34b	5,27b

Los valores en filas sin letra en común son significativamente diferentes según prueba de la Mínima Diferencia Significativa (MDS) al 95%.

Tabla 3.- Valores de las medidas de crecimiento y desarrollo

Parámetros	Tratamientos				
	Control	5	5,5	6	6,5
Altura planta (cm)	34,9d	29,46c	25,25b	24,79ab	19,74a
Anchura planta (cm)	73,04d	57,62c	47,34b	41,95ab	39,17a
Índice de compacidad	0,70a	0,81b	0,78ab	0,77ab	0,77ab
Peso seco aéreo (g)	53,94d	40,76c	24,87b	20,24ab	18,91a
Peso seco hojas (g)	21,82c	18,28b	12,26a	10,0a	9,91a
Peso seco tallos (g)	12,52c	9,33b	5,64a	4,68a	4,77a
Peso seco flores (g)	19,6d	13,14c	6,96b	5,57ab	4,22a
EUAR (gPS/l)	2,05c	2,21bc	1,97abc	1,74ab	1,72a
Nº de inflorescencias	16,67d	11,23c	8,98b	7,36ab	7,1a
Nº de hojas totales	110,6d	90,6c	75,4b	61,2a	68,0ab
Área foliar (dm ²)	40,53c	31,24b	19,46a	17,93a	16,88a
Área del limbo (cm ²)	36,98b	35,02b	25,83a	29,41ab	24,68a
Porcentaje hojas dañadas (%)	13,77a	16,45b	17,01b	16,88b	21,32c
SPAD foliar	52,09b	49,88b	50,91b	46,27a	44,34a
Índice crecimiento radical (%)	23,02a	24,5a	22,2a	23,55a	25,21a

Los valores en filas sin letra en común son significativamente diferentes según prueba de la Mínima Diferencia Significativa (LDS) al 95%.

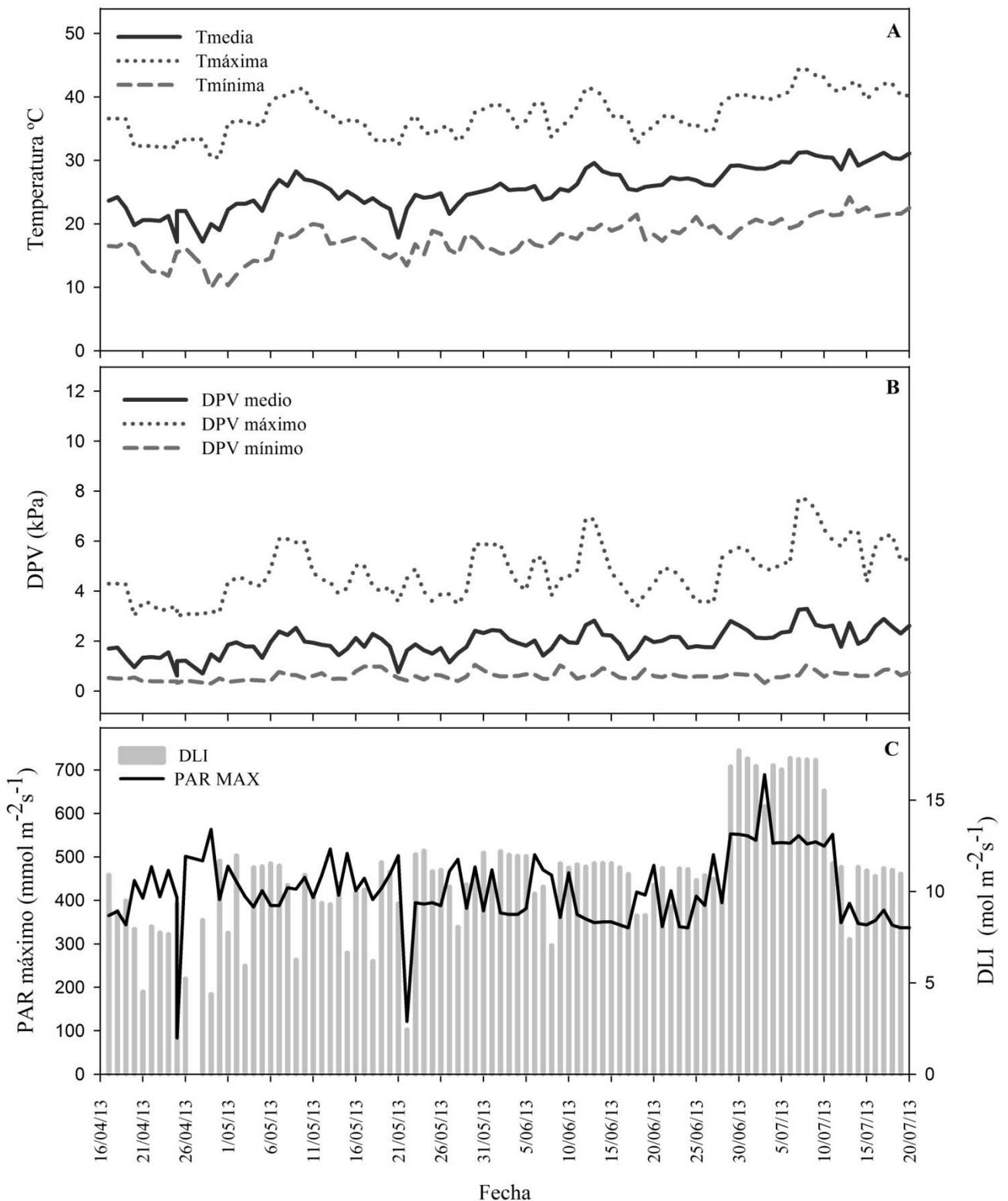


Figura 1.- Condiciones climáticas en el interior del invernadero durante el cultivo. Temperaturas medias, mínimas y máximas (A), déficit de presión de vapor medio, mínimo y máximo (B), PAR máximo e integral diaria de la luz (C). Los datos representados fueron medidas diarias.

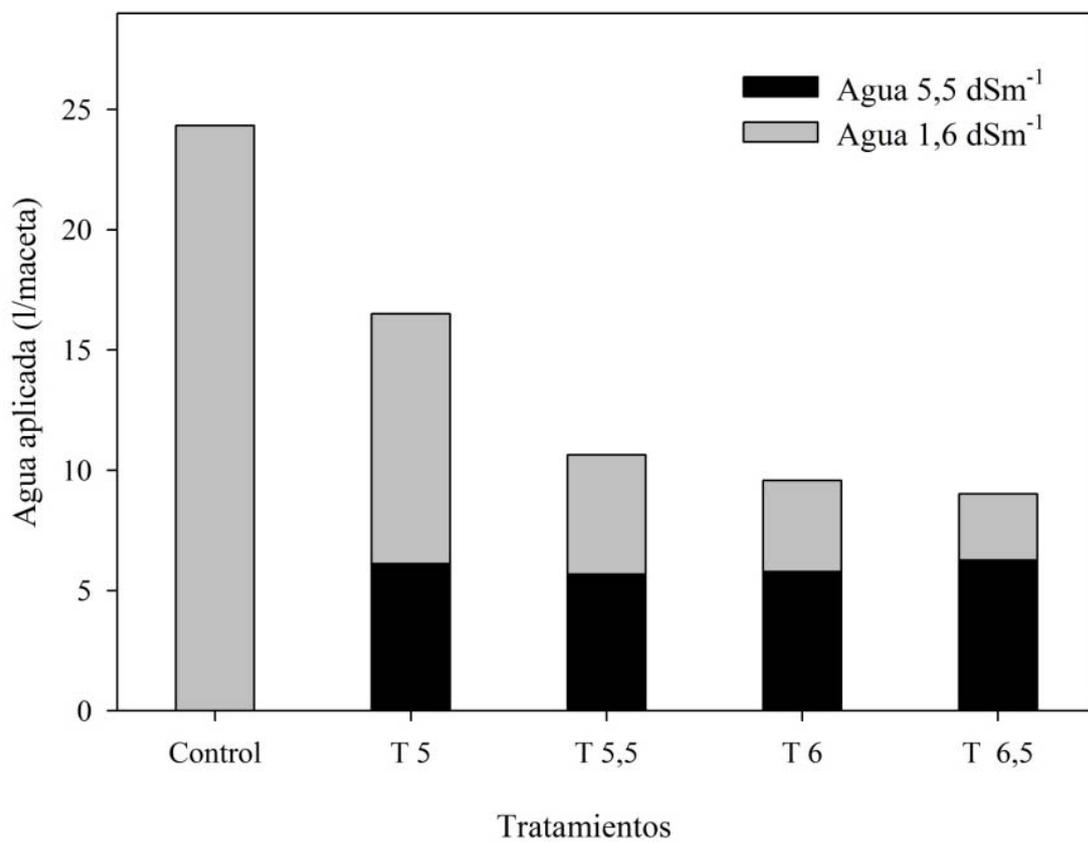


Figura 2. Distribución del volumen de agua aplicada en los diferentes tratamientos. Agua control 1,6 dS m⁻¹ y agua salina 5,5 dS m⁻¹.

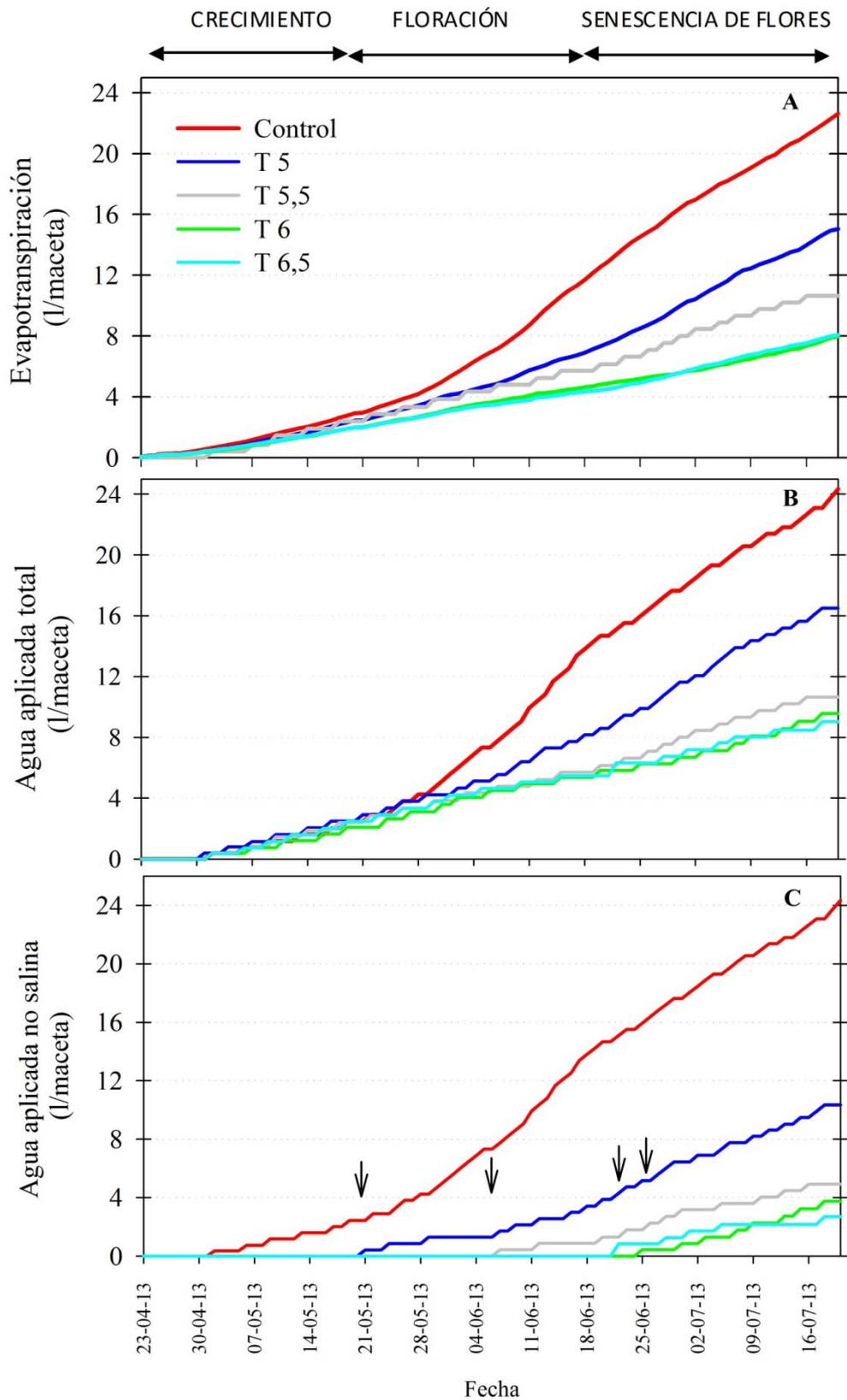


Figura 3.- Evolución de la evapotranspiración (A), el agua aplicada total (agua residual y no salina)(B), y agua aplicada no salina (C) durante el experimento.

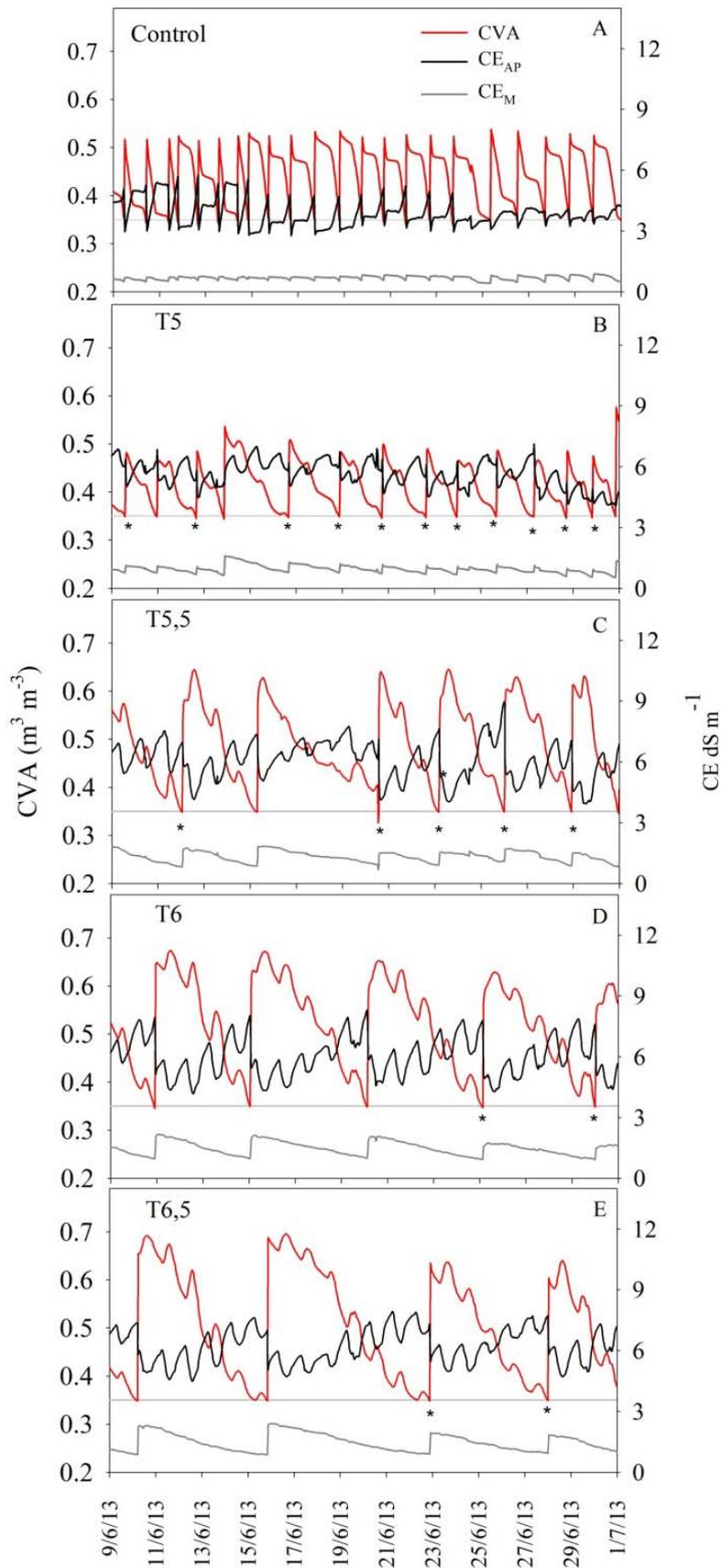


Figura 4.- Evolución de la humedad, conductividad eléctrica del agua de los poros y conductividad eléctrica del medio en un periodo de tres semanas durante el experimento. Los datos mostrados son la media de tres sensores por tratamiento realizada por el datalogger. Riego con agua no salina (*).

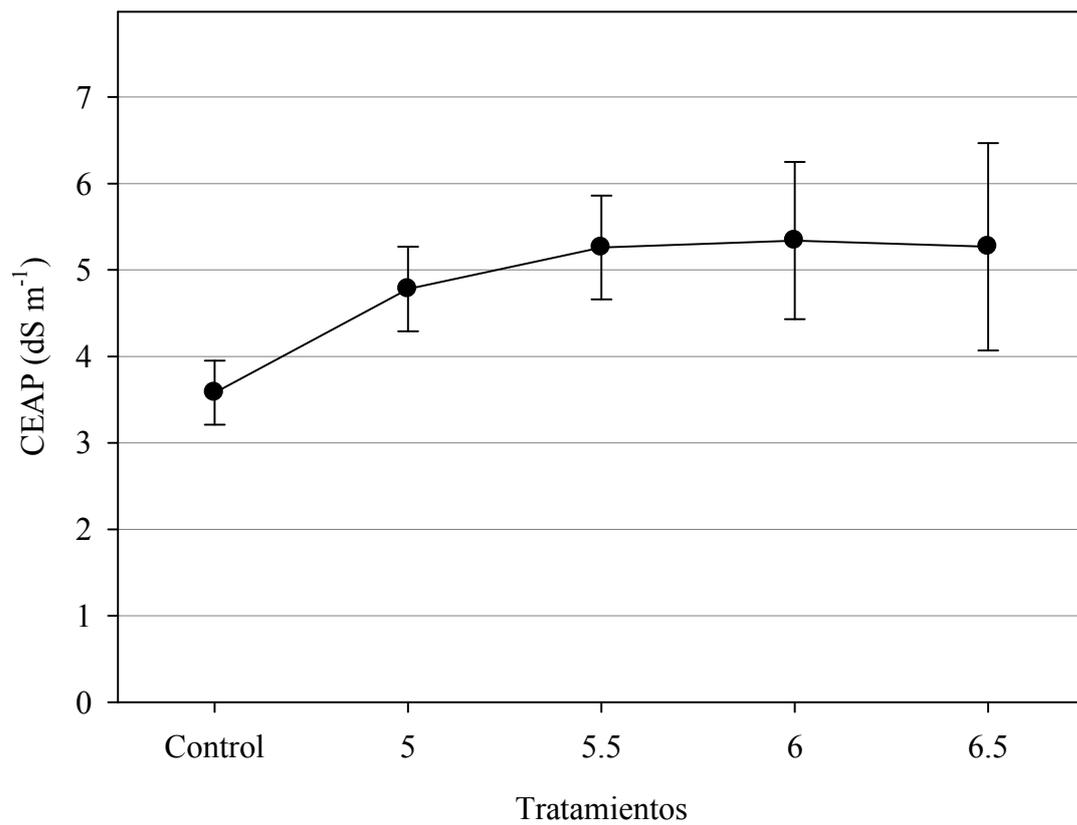


Figura 5.- Promedio de la CEAP en los distintos tratamientos. Para cada tratamiento, el círculo negro representa la media de todas las medidas de las sondas a lo largo del experimento, y las barras verticales el error estándar de estas medidas evolutivas

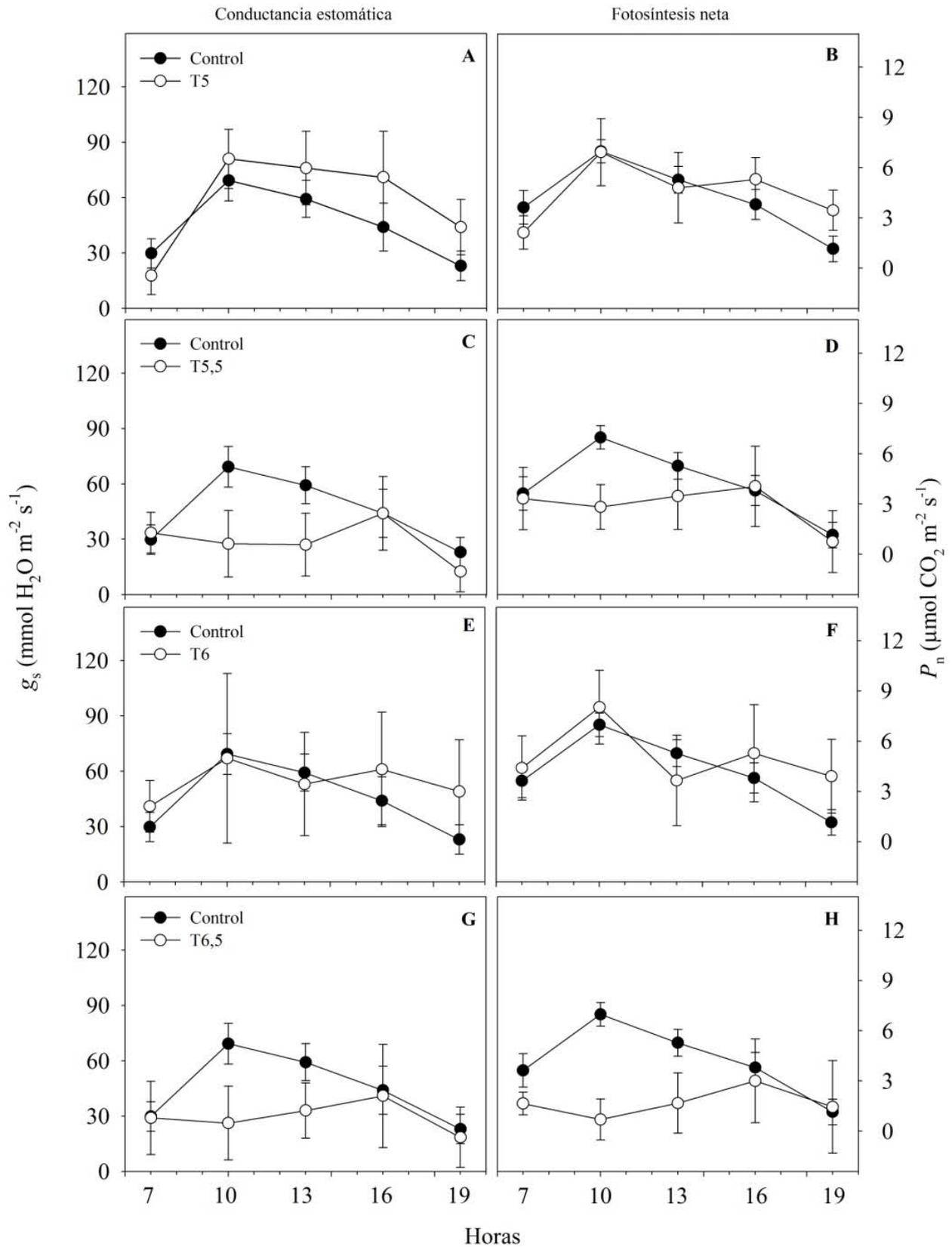


Figura 6 - Evolución diaria de la fotosíntesis neta (P_n) y la conductancia estomática (g_l) al final del periodo experimental en plantas de geranio sometidas a distintos niveles de salinidad (círculos blancos) y en plantas no salinizadas (círculos negros). Las barras verticales en las gráficas representan los errores estándar.

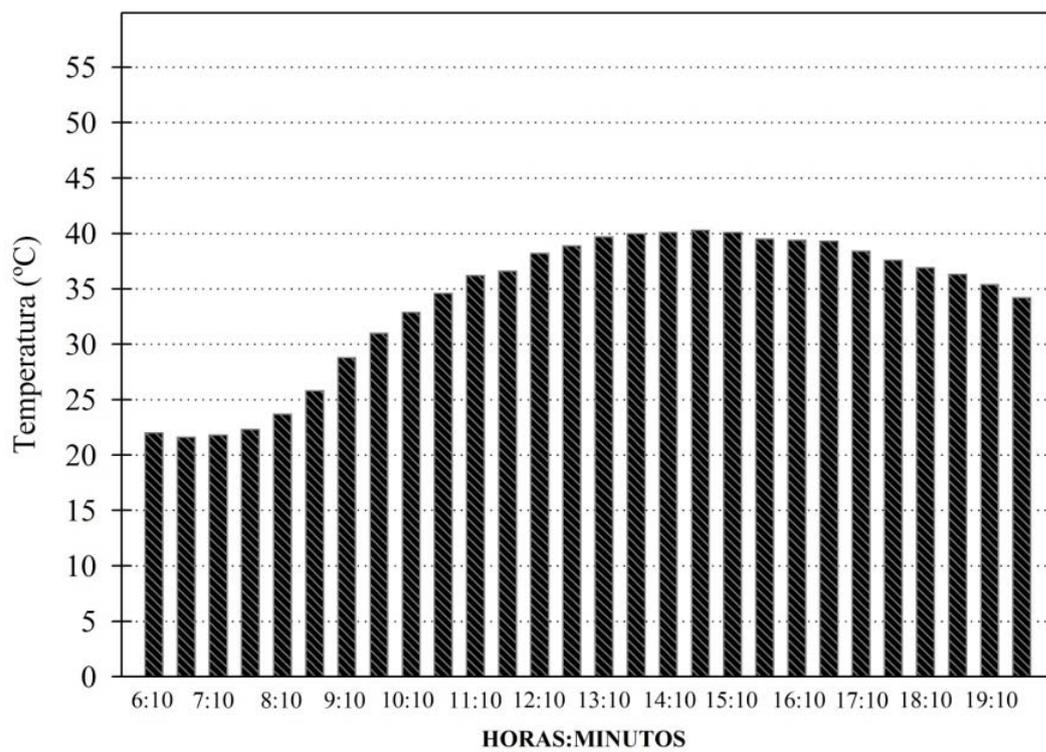


Figura 7.- Evolución de la temperatura a lo largo del día 18 de julio de 2013 en el que se realizaron las medidas de intercambio gaseoso.

ANEXO I: FOTOGRAFÍAS

Índice de fotografías

- Foto 1: Detalle de las plantas durante el trasplante, **47**
- Foto 2: Invernadero donde se realizó el ensayo, **47**
- Foto 3: Gráfica de condiciones de humedad y temperatura del LOG 32, **48**
- Foto 4: Datalogger CR1000 con las sondas conectadas, **48**
- Foto 5: Detalle de la colocación de los goteros, **49**
- Foto 6: Detalle de la sonda GS3 colocada en la maceta, **49**
- Foto 7: Síntomas en las hojas de la oruga del taladro, **50**
- Foto 8: Síntomas del taladro en el tallo, **50**
- Foto 9: Detalle de las bandejas de recogida del drenaje, **51**
- Foto 10: Detalle de la balanza con la planta y la bandeja, **52**
- Foto 11: Medición del área foliar, **53**
- Foto 12: Detalle de la medición del SPAD, **53**
- Foto 13: Cálculo del área con Image Tool, **54**
- Foto 14: Cálculo del porcentaje de raíz en una cara con Asses, **54**
- Foto 15: Detalle de la medición del intercambio gaseoso, **55**
- Foto 16: Síntomas de clorosis y necrosis en las hojas, **55**
- Foto 17: Día 4 de abril, inicio del ensayo, **56**
- Foto 18: Estado del ensayo el día 6 de mayo, **56**
- Foto 19: Día 18 de junio, antes de la primera retirada de flores, **57**
- Foto 20: Día 10 de julio, tras la última retirada de flores, **57**
- Foto 21: Día 20 de julio, al final del ensayo, **58**
- Foto 22: Comparación de las plantas: Control-T5-T6,5, **58**



Foto 1: Detalle de las plantas durante el trasplante



Foto 2: Invernadero donde se realizó el ensayo

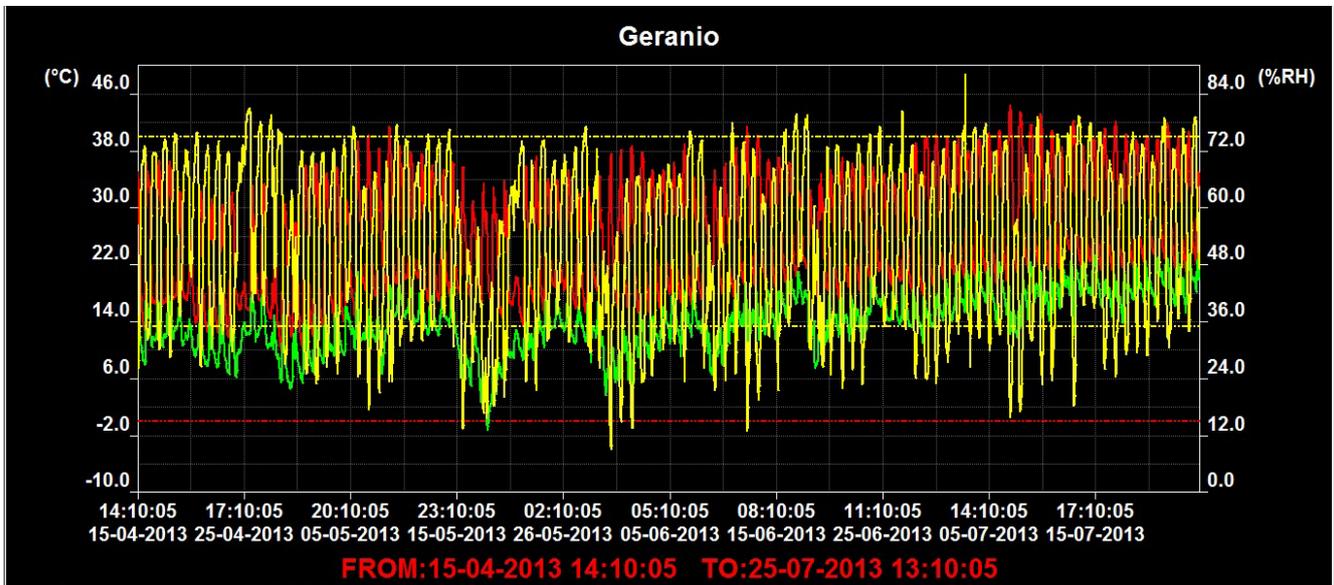


Foto 3: Gráfica de condiciones de humedad y temperatura del LOG 32

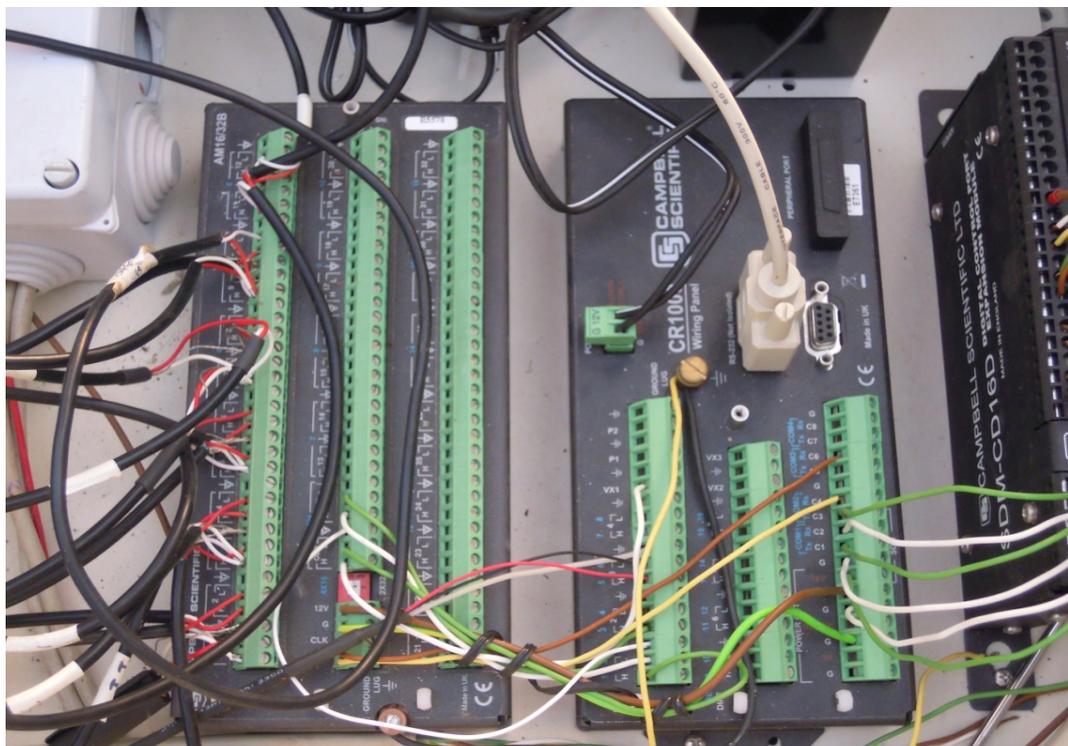


Foto 4: Datalogger CR1000 con las sondas conectadas



Foto 5: Detalle de la colocación de los goteros



Foto 6: Detalle de la sonda GS3 colocada en la maceta



Foto 7: Síntomas en las hojas de la oruga del taladro



Foto 8: Síntomas del taladro en el tallo



Foto 9: Detalle de las bandejas de recogida del drenaje

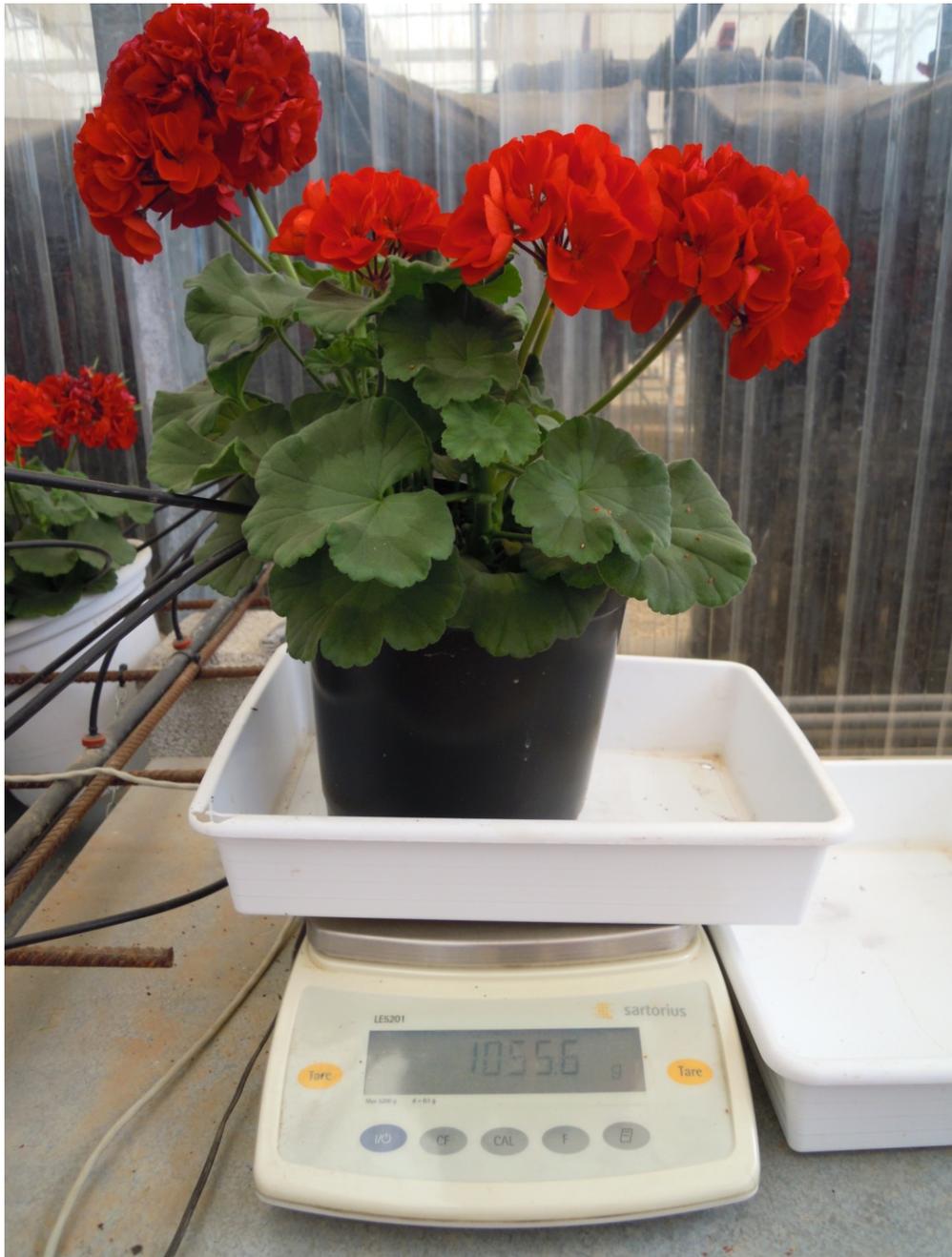


Foto 10: Detalle de la balanza con la planta y la bandeja

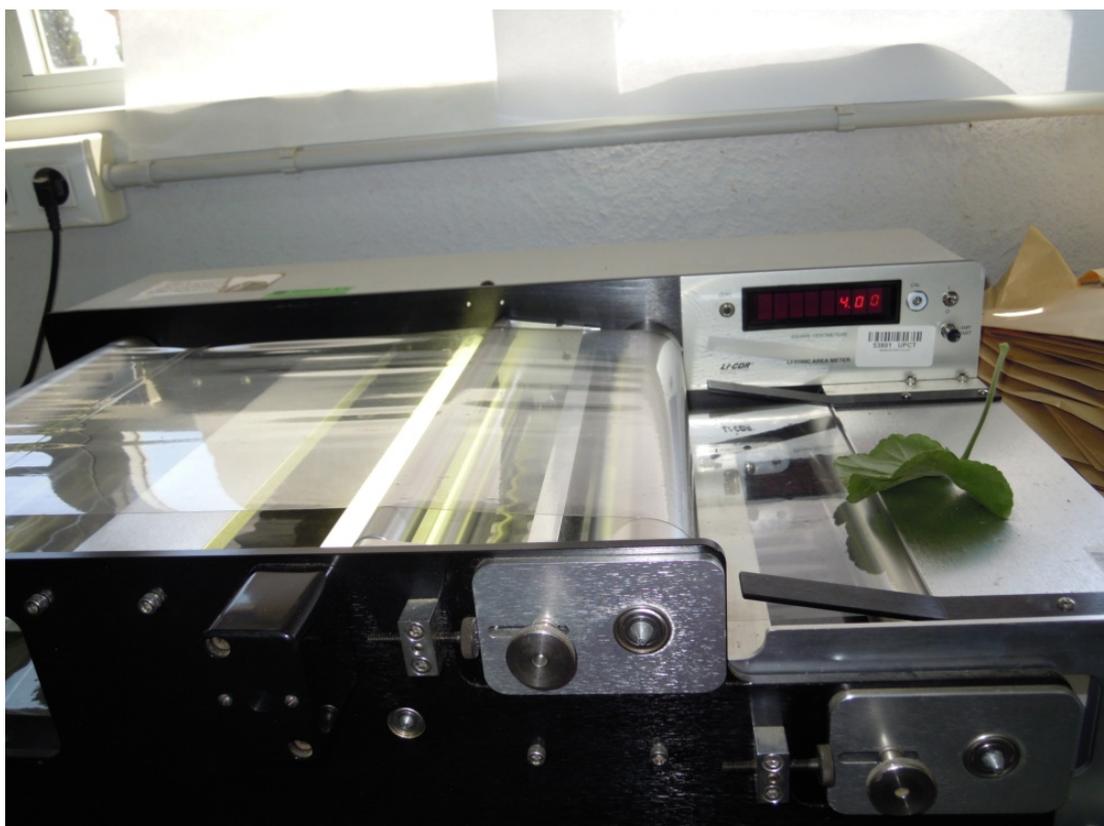


Foto 11: Medición del área foliar

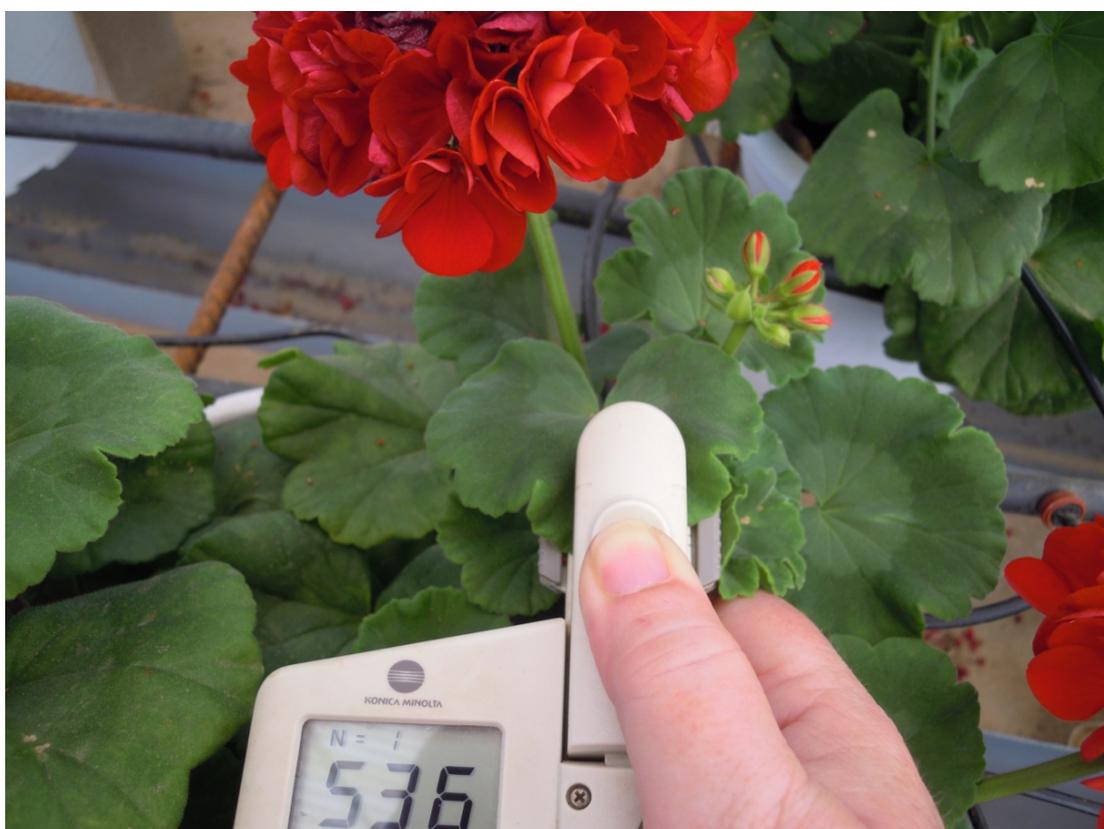


Foto 12: Detalle de la medición del SPAD

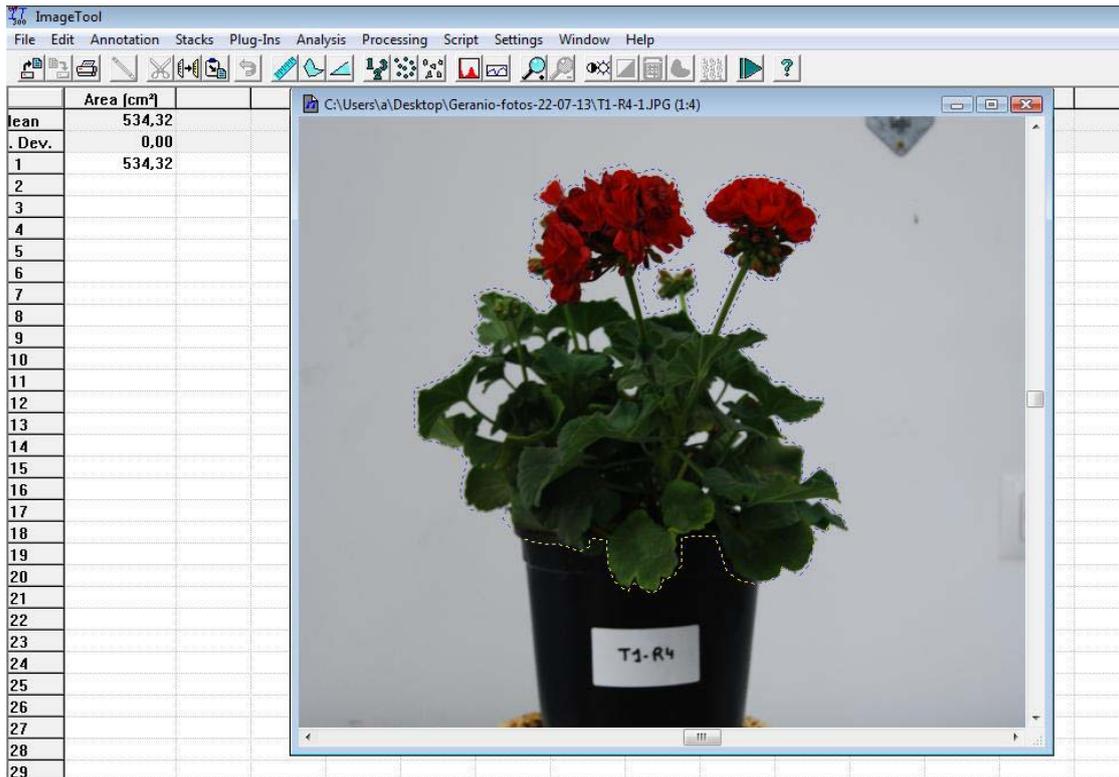


Foto 13: Cálculo del área con Image Tool

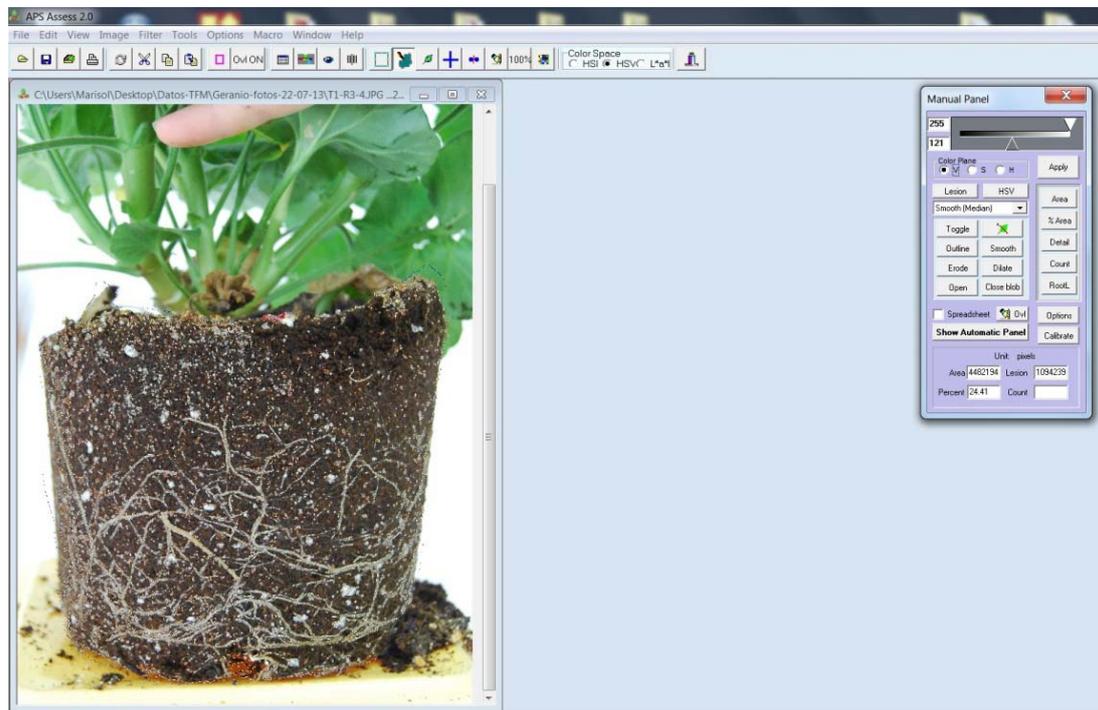


Foto 14: Cálculo del porcentaje de raíz en una cara con Asses



Foto 15: Detalle de la medición del intercambio gaseoso



Foto 16: Síntomas de clorosis y necrosis en las hojas



Foto 17: Día 4 de abril, inicio del ensayo



Foto 18: Estado del ensayo el día 6 de mayo



Foto 19: Día 18 de junio, antes de la primera retirada de flores



Foto 20: Día 10 de julio, tras la última retirada de flores



Foto 21: Día 20 de julio, al final del ensayo



Foto 22: Comparación de las plantas: Control-T5-T6,5