



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

PROYECTO FINAL DE CARRERA

**Ingeniería Técnica Agrícola, especialidad en Hortofruticultura y
Jardinería**

**Estudio de las relaciones
entre conductividades eléctricas durante un
cultivo en maceta de
Osteospermum**

Paula Serrano Galiana

Cartagena, septiembre de 2014



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 de las relaciones entre conductividades eléctricas durante un cultivo en maceta de Osteospermum**», presentado por Paula Serrano Galiana, ha sido realizado bajo mi dirección.

Y para que conste, a los efectos oportunos, firmo el presente escrito en Cartagena, a 25 de septiembre de dos mil catorce.




Fdo: Sebastián del Pilar Bañón Arias

ÍNDICE GENERAL

I.ANTECEDENTES, 7

1.1.-La salinidad,8

1.1.1.- El problema de la salinidad, 8

1.1.2. -Efectos inducidos por las sales,8

1.1.3.- Mecanismos de resistencia al estrés salino, 11

1.1.4.- Evaluación de la tolerancia al estrés salino,13

1.2.- Osteospermum,15

1.2.1.- Características botánicas, 15

1.2.2.-Material vegetal, 16

1.2.3.-El cultivo en maceta, 17

1.3.- Sondas para medir conductividad eléctrica y contenido hídrico del suelo,18

1.3.1.- Introducción, 18

1.3.2.-La conductividad eléctrica del suelo, 19

1.3.3.-El contenido volumétrico de agua del suelo, 20

1.3.4.-Utilidad de las sondas, 21

1.3.5.-Las sondas y su metodología de medida, 22

1.3.6.-Características de algunos sensores dieléctricos, 22

1.3.7.- El sensor GS3, 24

1.3.8.-Calibración para estimar el CVA, 24

1.3.9.-Factores que afectan a las lecturas de los sensores CVA, 25

II.EXPERIMENTO,27

2.1.- Introducción y Objetivos,28

2.2.- Material y métodos, 30

2.2.1.-Material vegetal,30

- 2.2.2.-Condiciones de cultivo, **31**
- 2.2.3.-Tratamientos, **32**
- 2.2.4.-Calibración de las sondas GS3, **33**
- 2.2.5.-Consumo de agua y drenaje, **33**
- 2.2.6.-Conductividad eléctrica del agua de los poros, **33**
- 2.2.7.-Medidas de SPAD, **34**
- 2.2.8.-Medidas de crecimiento y desarrollo, **34**
- 2.2.9.-Determinación de iones minerales, **35**
- 2.2.10.-Diseño y análisis estadístico, **35**
- 2.3.- Resultados y discusión, **40**
 - 2.3.1.-Crecimiento y desarrollo, **40**
 - 2.3.2.-Contenido de iones, **41**
 - 2.3.3.-Relaciones entre conductividades eléctricas, **43**
 - 2.3.4.-Medidas de pH, **44**
 - 2.3.5.-Evolución de la CE del agua de los poros medida según el método PourThrough, **45**
 - 2.3.6.-Evolución de la CE y del contenido volumétrico de agua del sustrato determinada con el sensor GS3, **45**
- 2.4.- Conclusiones, **47**
- 2.5.- Referencias, **62**

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 luz (C). Los datos representados son medidas diarios, **49**

Figura 2.- Efecto de la CE del agua de riego sobre el crecimiento y desarrollo, **50**

Figura 3.- Efecto de la CE del agua de riego sobre la acumulación de iones en las hojas y raíces. A) cloruro, B) sodio, C) potasio, D) fósforo, E) calcio y F) magnesio, **51**

Figura 4.- Estudio de la relación entre los valores promedios de CED, CEAP-PT, CEAP-GS3 y la CEAR (A). Estudio de la relación entre los valores promedios de pH-PT y pH-D y la CEAR (B), **52**

Figura 5.- Estudio de las relaciones lineales de los ajustes CE_{AP-PT} vs. CE_{AP-GS3} , CE_{AP-PT} vs. CE_D y CE_{AP-PT} vs. CE_{M-GS3} , **53**

Figura 6.- Estudio de la relación de la CE_{AP} vs. CE_M obtenidas con el sensor GS3, **54**

Figura 7. - Evolución del pH del drenaje y el pH -PourThrough, **55**

Figura 8.- Relación entre valores medios de CEAR a lo largo del cultivo y CE_{AP-PT} , **56**

Figura 9.- Evolución del contenido volumétrico de agua (línea roja), conductividad eléctrica de los poros (línea negra) y conductividad eléctrica del medio (línea punteada) durante un mes desde el 14 de diciembre de 2013 hasta el 23 de enero de 2014. A) 1,5 dS m⁻¹; B) 2 dS m⁻¹; C) 2,5 dS m⁻¹; D) 3 dS m⁻¹; E) 3,5 dS m⁻¹; F) 4 dS m⁻¹; G) 4,5 dS m⁻¹; H) 5 dS m⁻¹, **57**

Figura 10.- Evolución de las medidas de CE y CVA del sustrato entre dos riegos consecutivos para macetas regadas con 1,5 dS m⁻¹, **58**

Figura 11.- Evolución de las medidas de CE y CVA del sustrato entre dos riegos consecutivos para macetas regadas con 5 dS m⁻¹, **59**

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

- Foto 1.-** Disposición material vegetal en el invernadero, **36**
- Foto 2.-** Disposición de tratamientos en filas, **36**
- Foto 3.-** Sistema recogida volumen de riego y drenaje, **37**
- Foto 4.-** Método PourThrough, **37**
- Foto 5.-** Detalle de la sonda GS3 y colocación de los goteros en la maceta, **38**
- Foto 6.-** Calibración de las sondas GS3, **38**
- Foto 7.-** Determinación del porcentaje de raíces mediante el programa Asses 2.0, **39**
- Foto 8.-** Floración osteospermum, **39**
- Foto 9.-** Diferencia de crecimiento entre tratamientos (Tratamiento 1 al 4), **60**
- Foto 10.-** Diferencia de crecimiento entre tratamientos (Tratamiento 5 al 8), **60**
- Fotos 11 y 12.-** Detalle desarrollo del sistema radicular, **61**
- Foto 13.-** Detalle presencia de hojas basales con daños necróticos, **61**

I. ANTECEDENTES

1.1.-La salinidad

1.1.1.- El problema de la salinidad

Actualmente, la mitad de las tierras regadas en el mundo están, en mayor o menor grado, sometidas a la influencia de la salinización. Más de 800 millones de hectáreas de tierra en todo el mundo se ven afectadas por condiciones salinas y sódicas, que representan más del 10% del área total de tierras cultivables del mundo (Tanji, 2002; Munns y Tester, 2008). La salinidad afecta especialmente a las zonas de cultivo localizadas en regiones áridas y semiáridas, generando niveles de productividad cero o negativa. En estas zonas la escasez de precipitaciones no permite el lixiviado de las sales de las capas superficiales del suelo que se acumulan allí tras la evaporación del agua. Esta situación se hace cada vez más crítica debido a la presión sobre el agua del incremento de la población. Un claro ejemplo lo encontramos en la Región de Murcia, en donde la salinización de las tierras agrícolas y de las fuentes naturales de agua es un problema en aumento (Cánovas y Cerdá, 1995). Esta salinización se da por la extensión del regadío en las vegas tradicionales y zonas limítrofes (mayores necesidades de agua), el empleo de aguas subterráneas de baja calidad (salinas) y el incremento de la aportación de fertilizantes para obtener cosechas más abundantes.

En los suelos salinos las sales solubles exceden del 0,1 % del peso seco total, y pueden disminuir el crecimiento de las plantas silvestres o cultivadas. Esto depende lógicamente de la tolerancia de la planta a la salinidad, pero el laboratorio de salinidad de los EEUU (1954) considera que un suelo es salino cuando su conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación es mayor de 4 dSm^{-1} . Los iones características de los suelos salinizados pueden tener una mezcla de cationes y aniones como Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , aunque generalmente dominen el Na^+ y Cl^- .

1.1.2. -Efectos inducidos por las sales

La presencia de sales en el suelo inhibe el crecimiento de las glicófitas debido a que provocan alteraciones en el balance hídrico, relaciones iónicas, distribución de

asimilados y otros procesos fisiológicos y bioquímicos (Willadino y Cámara, 2005; Munns y Tester, 2008).

Una elevada concentración de sales en el medio radical provoca, por una parte, estrés hídrico debido a la disminución del potencial hídrico del medio radical (efecto osmótico); y por otra, la absorción de determinados iones que pueden provocar una acumulación de éstos en los tejidos vegetales alcanzando niveles tóxicos (toxicidad iónica específica) e induciendo además desequilibrios nutricionales (efecto nutricional) hasta alcanzar niveles de clorosis marginal y necrosis foliar (Munnset *al.*, 1982).

El déficit hídrico generado por la salinidad es un efecto más relacionado con plantas expuestas a niveles de salinidad elevados durante periodos cortos, mientras que la toxicidad iónica y los desequilibrios nutricionales están más ligados con plantas sometidas a un estrés salino durante periodos más largos (Alarcón *et al.*, 1993; Munnset *al.*, 1995; Neumann, 1997).

- **Efecto osmótico**

La salinidad genera efectos fisiológicos en la planta como lo es el estrés hídrico. Esto es debido a que el exceso de sales en la solución del suelo genera una disminución de su potencial osmótico y, en consecuencia, de su potencial hídrico. Por tanto, disminuye la disponibilidad del agua en el medio radical, afectando al crecimiento y desarrollo vegetal en condiciones salinas (Tanji, 1990; Neumann, 1997). Por esto, algunas plantas producen lo que se denomina ajuste osmótico para favorecer el flujo de agua desde el suelo hacia la planta. Esto ocurre para que la planta disminuya su potencial hídrico, haciéndolo menor que el potencial hídrico del suelo, y lo hace disminuyendo su potencial osmótico. Las plantas utilizan los solutos del medio radicular para el ajuste osmótico, pero pueden ser distintos los osmolitos que contribuyen al ajuste osmótico (Hsiao *et al.*, 1976), aunque bajo salinidad el ajuste osmótico se alcanza acumulando cloruro y sodio. Este ajuste osmótico permite a las plantas que crecen en medio salinos absorber agua y evitar la pérdida de turgencia y la muerte (Bernstein, 1963; Janes, 1996), pero es finito y depende de diferentes factores como puede ser las condiciones ambientales, la velocidad de desarrollo del estrés y el componente genotípico de la especie (Turner y Jones, 1980).

El estrés hídrico asociado a la salinidad se manifiesta, también, en el cambio de la apertura estomática de las plantas, aumentando la resistencia al intercambio gaseoso con el fin de limitar las pérdidas de agua a través de la transpiración (Downton *et al.*, 1985). Tanto el estrés hídrico como el estrés salino originan en las plantas efectos comunes como son la reducción de la tasa de fotosíntesis y de los intercambios gaseosos e incluso la pérdida de la integridad celular.

- **Efecto tóxico**

Las plantas que realizan el ajuste osmótico mediante iones salinos no siempre resultan beneficiosas, ya que los iones salinos se acumulan y pueden provocar daños en diferentes orgánulos subcelulares, como en mitocondrias y cloroplastos (Hiatt y Evans, 1960). El efecto tóxico generado por niveles críticos iónicos a nivel celular genera una serie de síntomas, de los que se destacan los daños en membranas celulares y distintos orgánulos (Rains *et al.*, 1980), las disminuciones de diversas actividades enzimáticas y restricciones en los mecanismos de transporte de asimilados que operan en la planta (Jeschke, 1984).

La salinidad afecta la fotosíntesis (Chaves, 2009), y la respiración, la síntesis de proteínas y de ácidos nucleicos (Nieman, 1965), las actividades enzimáticas (Mengel y Kirkby, 1987) y el transporte de solutos (Fernández, 1990). También se han observado alteraciones en la estructura y funcionalidad de los cloroplastos por efecto de la salinidad (Olmos y Hellín, 1996) que pueden afectar a los niveles de fotosíntesis.

- **Efecto nutricional**

El aumento de la concentración de los iones salinos en la solución del suelo provoca desequilibrios nutricionales en las plantas, porque dichos iones alteran la absorción y transporte de los nutrientes o porque interactúan de una manera directa con ellos. Bajo estos desordenes nutricionales, el crecimiento, producción y calidad de las plantas se ve negativamente afectado (Grattan y Grieve, 1994, 1999).

Las interacciones entre los diferentes cationes y aniones afecta especialmente a la absorción de determinados nutrientes como el potasio y calcio (Marschner, 1995). Estas interacciones se han relacionado con el grado de tolerancia a la salinidad, estableciéndose que las variedades sensibles tienen una mayor competencia del sodio y el cloruro frente al resto de iones y cationes.

1.1.3.- Mecanismos de resistencia al estrés salino

De forma general están establecidos dos grupos fisiológicos de plantas en función de la tolerancia a la salinidad. Las glicófitas que son aquellas plantas que toleran la salinidad a bajas concentraciones, y las halófitas que pueden tolerar niveles relativamente elevados de salinidad y crecen bajo condiciones naturales en suelos con una CE superior a 4 dS m^{-1} . En la realidad existe un espectro continuo de tolerancia que hace que la definición universal de plantas halófitas y glicófitas no sea clara (Gorham, 1996).

En especies vegetales cuyo grado de sensibilidad a la sal es similar pueden existir diferencias fisiológicas significativas en los mecanismos de tolerancia desarrollados, incluso dentro de una misma especie el grado de tolerancia puede variar (Alarcón *et al.*, 1994). Las estrategias adaptativas que las plantas desarrollan para afrontar situaciones salinas se clasifican en estrategias osmóticas encaminadas a evitar el déficit hídrico y estrategias iónicas que tienden a evitar la toxicidad (Levitt, 1980). Debe aumentarse la capacidad de obtener y/o retener agua, y debe restituirse la homeostasis iónica (Bargmann *et al.*, 2009).

- Estrategias osmóticas

Las plantas sometidas a estrés salino reducen la velocidad de transpiración originando primeramente el aumento de la resistencia estomática, y a más largo plazo induce cambios anatómicos y fisiológicos que reducen la superficie foliar, contribuyendo a minimizar las pérdidas de agua por transpiración. Otra respuesta es la

modificación foliar, como los cambios en las propiedades de la cutícula que hacen aumentar la resistencia al movimiento del agua.

Las plantas intentan regular su potencial osmótico hasta conseguir que el potencial hídrico celular sea similar al medio que las rodea (Tuner y Jones, 1980). En las plantas glicófitas así como en la mayor parte de las halófitas, el ajuste osmótico se consigue por medio de la acumulación de iones procedentes del medio (Alarcón *et al.*, 1994). Los mecanismos que evitan los efectos tóxicos de los iones en el medio (Greenway and Munns, 1980; Läuchli, 1984) no son eficaces en las especies más sensibles, de manera que tienen que recurrir a la síntesis y acumulación de solutos de naturaleza orgánica para regular el potencial hídrico celular (Flowers *et al.*, 1977).

La elasticidad de las paredes celulares es una propiedad que nos hace entender la expansión celular que acompaña al crecimiento. Un tejido elástico se caracteriza frente a un tejido más rígido que a un determinado valor de potencial hídrico le corresponde un menor potencial osmótico y un mayor potencial de turgencia (Joly and Zaerr, 1987). El módulo de elasticidades el parámetro que nos indica la elasticidad de los órganos turgentes, y describe la proporción en la que un pequeño cambio de volumen produce un cambio de presión, siendo menor el valor de este módulo cuanto más elástica sea la pared celular. La disminución de turgencia ante la pérdida de un determinado volumen de agua será menor en un tejido elástico que en un tejido más rígido. Aunque también se señala que no hay modificaciones en la elasticidad de las paredes por efecto de la salinidad en la mayor parte de las plantas (Hoffman *et al.*, 1980)

- **Estrategias iónicas**

La homeostasis iónica es un requerimiento esencial para que las plantas sobrevivan en condiciones de estrés salino (Bargmann *et al.*, 2009). La regulación del flujo iónico es necesaria para que las células mantengan una adecuada concentración de iones esenciales y baja la concentración de iones tóxicos (Senadheera, 2009).

Los estudios llevados a cabo comparando el grado de tolerancia a la salinidad entre especies han mostrado que la sensibilidad a elevadas concentraciones de sodio y/o cloruro en las hojas es mayor en plantas glicófitas que en halófitas. La mayor parte de las plantas halófitas basan su resistencia a la salinidad en la inclusión de iones

(principalmente sodio y cloruro) permitiéndoles mantener la turgencia (Flowers and Yeo, 1986). Por el contrario, la mayor parte de las plantas cultivadas son glicofitas excluidoras que presentan diferencias en su capacidad de absorción y transporte de sodio y cloruro a los brotes y hojas (Slama, 1986). La exclusión iónica se considera una estrategia de evitación de iones observada en la mayoría de las glicofitas ante una situación de estrés salino (Läuchli and Epstein, 1984).

Otra forma de regular el contenido iónico de la parte aérea es que las hojas maduras se cargan de iones salinos para, posteriormente, desprenderse de la planta (Batanouny, 1996). Este se considera un mecanismo extremo de exclusión de iones. Con este mecanismo se consigue disminuir la carga salina, se reduce la superficie foliar y por tanto las pérdidas de agua por transpiración, evitando el déficit hídrico asociado al estrés salino.

Otro mecanismo para evitar el estrés salino es el desarrollo de succulencia, que permite la dilución de los iones absorbidos, lo que produce células con una elevada relación superficie/volumen. Se considera al NaCl el promotor más eficaz de la succulencia (Batanouny, 1996).

1.1.4.- Evaluación de la tolerancia al estrés salino

La tolerancia a la sal de una planta se define como la capacidad para resistir los efectos de la alta salinidad sin efectos adversos significativos, como crecimiento o reducción del rendimiento o daño foliar (Grieve et al., 2008). La tolerancia de sal de una planta varía en gran parte con la especie o incluso un cultivar dentro de una especie (Niu et al., 2007a; Cabrera, 2009).

La evaluación de la tolerancia de los cultivos a la salinidad se ha realizado por la disminución del rendimiento (biomasa o productivo) a un nivel dado de salinidad respecto al rendimiento en condiciones control. Pero la tolerancia a la salinidad de las plantas ornamentales también se mide por aspectos estéticos, como la presencia de flores, dimensión, necrosis foliares, compactidad, color, etc. (Valdés et al., 2012).

- **Índices fisiológicos de tolerancia**

Para conocer el grado de resistencia a la salinidad hay distintos métodos, como puede ser la germinación de semillas en medio salino (Noble, 1983). También pueden utilizarse otros criterios relacionados con el crecimiento vegetativo. Como el efecto de la salinidad sobre la materia seca de la planta (Ho and Adams, 1994), que puede afectar a la parte aérea o radicular. El crecimiento radical expresa bien la resistencia relativa de una planta a la toxicidad mineral, mientras que el análisis foliar del contenido iónico parece ser un criterio interesante en las especies en las que la resistencia a la salinidad está condicionada principalmente por la exclusión salina.

Otro criterio es la utilización de los síntomas de necrosis foliar desarrollados como reacción a la acumulación de un ion específico, como ocurre con el cloruro en vid (West and Taylor, 1984) y citrus (Peynado and Sluis, 1979). La capacidad de mantener la turgencia foliar, especialmente durante las primeras fases de estrés salino, podría considerarse otro índice de tolerancia, aunque no hay una correlación directa y universal entre la turgencia y crecimiento.

- **Factores que influyen en la tolerancia**

Los efectos de la salinidad en una planta pueden depender de multitud de factores como la edad, humedad relativa (Hoffman y Jobes, 1978), temperatura (Mozafar y Oertli, 1992) e irradiación (Meiriet *al.*, 1982), entre otros. Existe la posibilidad de que la sensibilidad a la salinidad se manifieste en un estado temprano de desarrollo, mientras que en estadios posteriores, aún a niveles medios de sal, el rendimiento en algunos cultivos pueda aumentar (Luninet *al.*, 1963).

1.2.- Osteospermum

1.2.1.- Características botánicas

Osteospermum spp. es conocido con nombres como ‘dimorfoteca’, ‘matababras’, ‘margarita africana’, ‘margarita del cabo’, ‘caléndula del cabo’, ‘estrella polar’... es originaria de África del sur y pertenece a la familia *compositae*, aunque también hay bibliografía que la sitúa dentro de familia *Asteraceae*. Cabe destacar que su nombre científico deriva del griego osteon (= hueso) y del Latín spermum (= semilla). En España es muy usual identificarla comodimorfoteca porque anteriormente las especies de *Osteospermum* se incluían en el género *Dimorphoteca*, pero luego se circunscribió este último de modo que solo incluyera plantas anuales. De ese modo, todas las especies perennes se agruparon en *Osteospermum*.

Este género incluye arbustos y vivaces con hojas simples, alternas, normalmente enteras dentadas. Los capítulos son terminales o axilares, radiados, con varias filas concéntricas de flores. Las femeninas presentan vistosas lígulas amarillas o de otros colores. Flores masculinas tienen una corola amarilla con 5 dientes. Forma aquenios en las flores liguladas, polimórficos, redondeados, con 3 ángulos o con 3 alas, lisos o escábridos. Vilano ausente.

Este género comprende numerosas especies nativas de Sudáfrica, África tropical y Arabia. Son varias las especies y, especialmente híbridos, los que se cultivan en macetas y jardines por sus flores. Su facilidad de hibridación y el interés de muchas empresas productoras de esta planta en obtener nuevas variedades, han permitido poner en el mercado un amplio surtido de osteospermum híbridos, en donde la especie *O. ecklonis* es la base.

El *Osteospermum ecklonis* es una planta de unos 30 a 50 centímetros de altura en el jardín, de aspecto herbáceo, de hoja perenne, con un comportamiento como planta anual. Sus hojas son verdes y alternas, principalmente de forma lanceolada aunque también se muestran según la variedad en otras muchas formas (enteras o dentadas). Sus flores tienen una forma similar a la de las margaritas, desarrollándose solitariamente al final de sus ramas. Su floración se centra desde finales del invierno hasta finales de primavera, llegando raramente al verano. El *O. ecklonis* es ideal para crear coloridos

macizos en el jardín. Tras su floración, se mantiene verde durante todo el año, aunque el exceso de temperaturas la deteriora fácilmente, y sus hojas basales pueden aparecer quemadas.

Se utiliza generalmente como planta ornamental en maceta o como planta florífera en los macizos de jardines y zonas verdes. Pero también le encontramos otros usos. Por ejemplo, usos culinarios: las hojas jóvenes y frescas de margaritas se pueden usar para ensalada. También se usan en medicina las flores secas para hacer infusiones. Y es que las margaritas poseen propiedades antiespasmódicas, calmantes, digestivas y astringentes (al igual que la Camomila, que es de la misma familia).

1.2.2.-Material vegetal

- **Especies**

La mayoría de *Osteospermums* de nuestros jardines son híbridos. La popularidad de esta planta se basa en que el número de nuevas variedades disponibles cada año está creciendo constantemente.

Hay muchas especies de *Osteospermum* siendo las más comunes *O. barbara*, *O. caulescens*, *O. ecklonis*, *O. fruticosum*, *O. jucundum*.

- **Tipos**

Osteospermum de resistencia media

Son sensibles y no sobreviven a inviernos fríos. En general, pueden hacer frente a heladas leves, pero en zonas donde las temperaturas caen por debajo de los -2° C tendrán problemas para sobrevivir.

Osteospermum resistentes

Estos también son perennes y se llaman 'resistentes', ya que tienden a sobrevivir en temperaturas más frías. Esto ciertamente no significa que son fuertes en todas partes.

Los tipos más resistentes también se distinguen por su hábito de crecimiento. Son postrados y tienen tendencia a propagarse. Se trata principalmente de las especies *Jucundumy Ecklonis*. Otra característica distintiva es el centro de color azul oscuro del disco, que está presente en todas las variedades jucundum. Las hojas son lanceoladas, mientras que las hojas de 'ecklonisprostratum' son dentadas.

Otra característica obvia de los tipos más resistentes es la profusa floración en primavera. Sin embargo, a diferencia de muchos otros osteospermumsno tienen una segunda floración abundante, aunque siguen floreciendo hasta las primeras heladas (y muchas veces más allá) con floración esporádica.

1.2.3.-El cultivo en maceta

- Sustrato y trasplante

Un sustrato ideal para osteospermum debe permitir el desarrollo rápido de las raíces, además de tener buena capacidad de retención de agua. Las mezclas que permanecen demasiado húmedas pueden disparar el crecimiento haciéndolas débiles y cloróticas. Las posibilidades para que se produzcan las pudriciones radiculares son mayores en sustratos que están saturados continuamente.

Las temperaturas nocturnas para osteospermum deben estar entre 17 y 20° C para el establecimiento de la raíz antes de pellizcar. También se necesitan altos niveles de luz.

- Riego

No debe someterse a estrés hídrico. Si se secan, pueden amarillear y aparecer clorosis en hojas. Es recomendado el riego automatizado. La gestión del agua es muy

importante durante la fase de establecimiento, ya que suelos saturados pueden estancar el crecimiento, introducir enfermedades, problemas nutricionales y retraso de los cultivos. Una vez que el sistema radical está desarrollado son requeridos varios riegos por día.

- **Fertilización y nutrición**

El pH del sustrato de la raíz y la conductividad eléctrica (EC) debe ser objeto de un seguimiento semanal debido al potencial de la acumulación de sal y / o el desarrollo de alto o bajos valores de pH. Un rango de pH ideal para *Osteospermum* debe estar entre 5.8 y 6.2 los niveles de la CE durante crecimiento activo debe mantenerse entre 0,75 a 1.2 dS/m para el método de extracción 2:1, 1.6 a 2.6 dS/m para el método de extracción de pasta saturada, o 2,5 a 4,0 dS/m para el método de extracción PourThrough. La tendencia que se sigue para la fertilización es su aportación en pequeñas cantidades con el riego, con lo que se consiguen niveles de fertilizante más lineales en el sustrato. Un equilibrio N-P-K aconsejable sería 20-10-20.

1.3.- Sondas para medir conductividad y contenido hídrico del suelo

1.3.1.- Introducción

La presencia en el mercado de sensores para medir el contenido volumétrico de agua (CVA) del sustrato, junto con el desarrollo de un software que facilite y mejore su uso, constituye una interesante herramienta para realizar un riego de precisión. Algunas de estas sondas realizan medidas simultáneas de CVA y CE del medio (CEM), lo que es de gran utilidad para controlar también la salinización del sustrato con un mínimo consumo de agua.

1.3.2.-La conductividad eléctrica del suelo

La CE indica la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica, por eso, conforme aumentan las sales en el agua (fertilizantes o no) más CE habrá. Ciertamente, la CE no debe asociarse sólo con el contenido de fertilizantes porque hay iones no nutricionales que participan en la CE del agua; por ejemplo, un agua salina contendrá sodio y cloruro. Durante el cultivo, se puede medir tres tipos de CE de forma no destructiva: la CEM, la CE del agua de los poros (CEAP) y la CE del drenaje (CED).

La CEM hace referencia a la CE del agua, sustrato y aire de forma combinada, y es medida in situ con los sensores. Esta CE es función de la salinidad, pero también depende mucho de la humedad del sustrato o suelo porque el aire y el suelo conducen mal la electricidad. La CE_{AP} tiene gran influencia sobre el crecimiento de las plantas porque es el agua que extraen del medio; es decir la conductividad que sienten las plantas. La CEM de sustratos en macetas suele determinarse por el método PourThrough que básicamente consiste en recoger el drenaje (50 mL) de una maceta saturada, tras adicionar una cantidad conocida de agua destilada (Cavins et al. 2000). En agua, la CEAP será igual a la CEM. En cualquier caso la CE del suelo es compleja, porque la electricidad se puede propagar por tres vías diferentes: 1) a través del complejo agua-suelo, 2) a través del agua del suelo; y 3) a través de las partículas del suelo. La densidad aparente del suelo, su porosidad, tortuosidad, contenido de agua y la concentración de iones disueltos, actúan conjuntamente por las tres vías mencionadas, determinando la CEM (del suelo en su conjunto). En la primera vía la ruta eléctrica va desde el agua al suelo, y regresa de nuevo al agua. Esta es función de la CE del agua y de la del suelo; así, si aumenta el contenido de agua, la CEM aumenta. La segunda vía refleja la CE del agua, que aumentará a medida que aumenta las sales disueltas en el agua y el contenido de agua en el suelo. El factor dominante de los dos cambiará según cambie la concentración de las sales disueltas y el contenido hídrico. La tercera vía es a través de las partículas del suelo, y especialmente influirá la densidad aparente del medio, tipo de suelo, movimientos de iones, etc.

En el mercado existen distintos tipos de sensores dieléctricos que se diferencian en los principios físicos que usan, pero también en el mantenimiento, rango, calibración, exactitud, estabilidad y precio. Todos ellos tienen la ventaja de poder automatizar las medidas de humedad y CE del suelo porque son poco destructivos, no contaminantes,

de bajo mantenimiento y relativamente fáciles de usar. Los sensores disponibles suelen medir directamente la CEM, y estiman la CEAP con un modelo matemático que se inserta directamente en el sensor o a través de la programación. Varios modelos se han desarrollado para relacionar la CEM con la CEAP (Rhoades et al., 1976, 1989; Mualem and Friedman, 1991; Malicki et al., 1994; Malicki and Walczak, 1999; Amente et al., 2000; Hilhorst, 2000). Hilhorst (2000) aprovecha la relación lineal entre la permitividad dieléctrica y la CE del medio para convertir la CEM a CEAP. Sin embargo, distintos factores pueden afectar negativamente a esta estimación (Rosenbaum et al., 2011), especialmente la salinidad de la solución del sustrato (Kargas and Kerkides, 2012; Valdés et al., 2012).

1.3.3.-El contenido volumétrico de agua del suelo

Un concepto adecuado para medir la humedad del suelo es el contenido de agua en volumen (CVA), expresado por el volumen total de agua contenido en un volumen de sustrato (Salas et al., 2008). El CVA se expresa en porcentaje o en cm³ de agua por cm³ de suelo. Pero este valor en sí no refleja la disponibilidad de agua en el sustrato para la planta, porque en función de las características del sustrato ésta estará más o menos retenida. La relación entre el CVA y la tensión con que es retenida en el sustrato marca la disponibilidad de agua.

Podemos distinguir diferentes tipos de agua según la disponibilidad para el cultivo. El agua total disponible (agua total disponible) es la suma del agua fácilmente disponible por la planta (la que consume la planta sin estrés) y el agua de reserva (necesita un poco de estrés para absorberla). Tras consumir el agua total disponible entramos en el punto de marchitez permanente, en donde la planta va estresada porque le cuesta demasiado extraer el agua. El valor recomendado para el agua total disponible oscila entre 24 y 40% del volumen de sustrato (abad et al., 2004). Su valor depende principalmente de las características físicas del sustrato (Bougoul y Boulard, 2006), y en menor medida del volumen y forma del contenedor. Las técnicas de cultivo y el tiempo de uso del sustrato varían las propiedades físicas del mismo (Muro et al., 2005) y, consecuentemente, el agua fácilmente disponible. El agua fácilmente disponible depende de las características del contenedor, capacidad de retener agua del sustrato y

frecuencia de riegos (Nemali y van Iersel, 2006). También hay que considerar que algunos sistemas de irrigación, como el riego por goteo, no consiguen humedecer por completo y homogéneamente todo el medio de cultivo (Bougoul and Boulard, 2006), lo que supone que el CVA total disponible en el sustrato será menor del teórico. La frecuencia de los riegos viene determinada principalmente por el CVA ya que se recomienda que los riegos se apliquen cuando la planta haya consumido un determinado porcentaje del agua fácilmente disponible (punto de recarga).

La medida del CVA de un sustrato o suelo es sencilla, pues sólo hay que obtener la diferencia de peso entre el sustrato húmedo y seco (volumen de agua de en la maceta), y después dividiremos por el volumen que ocupa el sustrato en la maceta.

1.3.4.-Utilidad de las sondas

La realización de un riego de precisión (echar sólo el agua que se necesita) requiere la disposición de medidas exactas y frecuentes del CVA en el sustrato (da Silva et al., 1998), lo que justifica la incorporación de sistemas de medida del agua más precisos y automatizables. La incorporación de automatismos en la agricultura en los cultivos bajo invernadero ha sido una tendencia al alza en las últimas décadas para las distintas técnicas de cultivo empleadas. De éstas, el fertirriego es uno de los procesos más abierto a incorporar nuevas tecnologías por la necesidad que surge de evitar pérdidas de fertilizantes y agua, y de ajustarse a las necesidades reales de los cultivos.

La cuantificación precisa y continua de la humedad y CE del suelo es vital para numerosas aplicaciones agrícola (Mortl et al., 2010), y adquiere mayor relevancia en los cultivos en macetas porque el volumen disponible por las raíces es reducido. En cultivo sin suelo, determinar la dinámica del agua en el sustrato nos permitiría un mejor manejo en tiempo y espacio del agua suministrada en relación a las necesidades de las plantas durante cada fase del ciclo de cultivo y estación del año (De Rijck et al., 1998).

1.3.5.-Las sondas y su metodología de medida

Son variados las técnicas dieléctricas disponibles para medir in situ la humedad del suelo, incluyendo especialmente: reflectometría del dominio de tiempo (TDR), transmisión del dominio tiempo de (TDT) y reflectometría de dominio de frecuencia (FDR) (Muñoz-Carpena et al., 2005a). Estos métodos realizan la estimación del CVA y/o de la CEM midiendo sus propiedades dieléctricas (Giese y Tiemann, 1975; Topp et al, 1980). De éstos, las sondas tipo FDR se están mostrando especialmente útiles para las medidas de CVA o/y CEM en macetas con distintas mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos.

Los sensores FDR miden la permitividad eléctrica del medio (ϵ) mediante la medición de la capacitancia. La ϵ evalúa la respuesta eléctrica del suelo (indica cómo el suelo afecta a un campo eléctrico), que en definitiva es la habilidad de un material para polarizarse como consecuencia de la aplicación de un campo eléctrico, y de esa forma, cancelar parcialmente este campo eléctrico dentro del material. Esta propiedad se expresa generalmente como permitividad relativa (para simplificar, referida sólo como permitividad), es decir la relación entre la permitividad absoluta del material y la del vacío, y por lo tanto se trata de un valor adimensional. La permitividad de un medio es un número complejo ($\epsilon = \epsilon_r - j\epsilon_i$) donde la parte real (conocida como constante dieléctrica), ϵ_r , está relacionada con la energía almacenada y la parte imaginaria, ϵ_i , con la energía total perdida o absorbida por el material. La componente real proporciona una estimación del CVA del suelo porque en agua es alta (80 aproximadamente) comparada con la del suelo que es 5, y la del aire que es 1. Es decir, la ϵ real está muy influenciada por la presencia de agua. La parte imaginaria depende de la CE y de la frecuencia efectiva del campo eléctrico aplicado, estando directamente relacionada con la CEM.

1.3.6.-Características de algunos sensores dieléctricos

El **Sensor WET** (Delta-T Devices Ltd., Burwell, Gran Bretaña) es un sensor dieléctrico de tipo capacitivo que permite obtener lecturas simultáneas de permitividad real, CEM y temperatura del medio. Sus lecturas son discretas. termina la permitividad real y la imaginaria, basándose en que el suelo, que actúa como material dieléctrico,

situado entre dos electrodos (guías paralelas de la sonda), se comporta como un condensador con pérdidas. El sensor dispone de ecuaciones para estimar por un lado el CVA (que lo hace en función de la permitividad real y unos parámetros que dependen del tipo de suelo) y por otro lado la CEAP (con el modelo de Hilhorst, 2000). En determinados casos es conveniente realizar una calibración específica. Dispone de tres varillas de 6.5 cm de longitud y separadas entre sí 1.5 cm, que se conecta a un lector (HH2 Moisture meter, Delta-T Devices Ltd., Burwell, Gran Bretaña) encargado de generar una onda electromagnética y de mostrar y almacenar los valores medidos. La onda electromagnética de 20 MHz generada produce un campo electromagnético entre las varillas. El comportamiento dieléctrico e iónico del material situado entre ellas, produce cambios en la onda de 20 MHz. A partir de la frecuencia resultante el sensor mide la capacitancia y la conductancia del suelo que se encuentra entre las varillas. Mediante un sensor situado en la varilla central de la sonda, el WET Sensor proporciona también la temperatura del suelo (lo que permite referir el valor de la CEAP a 25°C).

El sensor **HydraProbe II** (Stevens Monitoreo del Agua Systems, Inc., Portland, Oregón, EE.UU.) determina la respuesta eléctrica de los suelos midiendo la permitividad y la CEM. La permitividad es más indicativo del contenido de agua mientras que la CEM es fuertemente dependiente de la salinidad del suelo. El sensor proporciona valores de permitividad real, CEM y temperatura del suelo de forma continua. Estima el CVA con una ecuación de calibrado y, programando, podemos obtener la CEAP. Esta sonda mide las propiedades dieléctricas a 50 MHz, que la hace más sensible a las variaciones de suelo que las sondas que utilizan mayor frecuencia de muestreo (Shibchurn et al., 2005). Su rango de temperatura está entre 10° y 65° C, y el de CEAP hasta 20 dS/m. La sonda de Hydra tiene cuatro calibraciones, que proporcionan un rendimiento excelente en la mayoría de los suelos minerales independientemente de la textura o compuestos orgánicos. Las calibraciones son de arena, limo, arcilla y limo. El suelo franco es la calibración por defecto.

La **sonda 5TE** (DecagonDevices, Inc. 365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163-USA) está diseñada para medir CVA, CEM y temperatura del suelo. El CVA se obtiene midiendo la constante dieléctrica del medio empleando la tecnología FDR, mientras que la CE se obtiene con la ayuda de dos electrodos de acero inoxidable. La sonda 5TE mide la temperatura con un termistor a bordo, y la CE utilizando una matriz de electrodos de acero inoxidable. Las medidas de CEM requieren un buen contacto

entre los electrodos de acero inoxidable en el sensor y el suelo. Con sustratos que mantengan grandes espacios de aire grandes no se puede utilizar con precisión. Las tres mediciones (CVA, temperatura y CE) se hacen de forma independiente con la 5TE. Al igual que todos los sensores ECH2O, el 5TE determina el CVA mediante la medición de la constante dieléctrica del medio. El sensor utiliza una frecuencia de 70 MHz.

La **EC-5** (DecagonDevices, Inc. 365 NE Hopkins CourtPullman, WA 99163 – USA) incorporan un oscilador que funciona a una frecuencia de 70MHz, por lo que se puede usar en un rango amplio de suelos con CEAP hasta 8 dS/m en suelos minerales y 14 dS/m en sustratos. La señal de salida es el voltaje, correlacionado con el CVA linealmente (suelo) o polinomialmente (sustrato). El rango de humedad es hasta el 100% del CVA. Tiene una longitud de sólo 5 cm con un volumen de 0,3 L de medición, haciéndolo fácil de instalar en macetas.

1.3.7.- El sensor GS3

En este experimento nosotros usamos el **sensor GS3**(DecagonDevices, Inc. 365 NE Hopkins CourtPullman, WA 99163-USA) que mide humedad del suelo, temperatura y CEM según Decagon, dicho sensor se ha diseñado específicamente para su uso en sustratos. Las agujas de acero entran perfectamente a través del sustrato para un contacto perfecto y minimizar la perturbación del sustrato durante la inserción,mejorando la capacidad del sensor para medir la CE en sustratos porosos como la turba o la perlita. El sensor también funciona bien en los suelos minerales. Su frecuencia de 70 MHz reduce al mínimo la salinidad y efectos de textura, por lo que es preciso en la mayoría del suelo o sustratos.

1.3.8.-Calibración para estimar el CVA

La mayoría de las sondas disponibles comercialmente utilizan ecuaciones de calibración que el fabricante ofrece para relacionar las propiedades dieléctricas del medio con el CVA. Estas calibraciones se hacen considerando diversos tipos de suelo y, aunque son adecuadas para una gran diversidad de suelos, si queremos tener medidas

precisas de CVA y CEM, habrá que hacer calibraciones bajo las condiciones que nos vamos a encontrar durante el cultivo (Dirksen y Dasberg, 1993; Seyfried y Murdock, 2004). Para suelos con comportamiento dieléctrico atípico (por ejemplo, suelos orgánicos o volcánicos), se requiere una calibración específica del suelo (Topp y Davis, 1985; Pepin et al, 1992; Paquet et al, 1993; Holden, 1997; Muñoz-Carpena et al, 2005b; Shibchurn et al, 2005). Este sería el caso de los sustratos empleados en la producción de plantas ornamentales (Muñoz-Carpena et al., 2005b; Shibchurn et al., 2005).

1.3.9.-Factores que afectan a las lecturas de los sensores CVA

Son varios los factores que pueden afectar a las lecturas de las sondas (Ritter y Regalado, 2007), como el contenido en humedad, la porosidad (Weitz et al., 1997), la frecuencia de la onda electromagnética utilizada (Campbell, 1990; Kelleners et al., 2005), la temperatura (Or y Wraith, 1999), la salinidad (Campbell, 2002; Seyfried y Murdock, 2004), la mineralogía (Olhoeft, 1989), el contenido en materia orgánica (Topp et al., 1980; Roth et al., 1992), o el tamaño y forma de las partículas y poros presentes en el suelo (Sen, 1981; Knight y Endres, 1990). La mayor fuente de incertidumbre en la medición de CVA y la CEM con sondas dieléctricas se debe a la variación en la respuesta a diferentes tipos de suelo (Seyfried y Murdock, 2004). Las sondas que miden las propiedades dieléctricas a baja frecuencia son más sensible a las variaciones de suelo que las sondas que utilizan mayor frecuencia de muestreo (Shibchurn et al., 2005). La CE del contenido agua en el suelo, la temperatura y la tortuosidad de los poros del suelo (Gupta y Hanks, 1972; Nadler y Frenkel, 1980; Malicki et al, 1989; Rhoades et al, 1989; Mualem y Friedman, 1991; Van Loon et al, 1991; Risler y col, 1996), pueden producir cambios en la estimación del CVA.

Los valores de los dos componentes de la ϵ varían con la temperatura, pero las sondas suelen medir la temperatura y corregir los valores. La influencia de la tortuosidad de los poros del suelo sobre la relación entre la CEM y la del agua del suelo es de poca importancia. Esto es debido a la variación de las propiedades de la matriz pertinentes en el tiempo es bastante pequeño. Así, con la excepción de los efectos de temperatura, que son fáciles de eliminar, sólo el contenido de agua, tiene que tenerse en cuenta en el seguimiento del estado salino del suelo.

La relación entre la constante dieléctrica del suelo y su contenido de agua es bastante constante (Topp et al, 1980; Malicki, 1993) siempre que el suelo no esté muy salinizado ($CE < 10$ dS/m), mientras que la relación entre la CEM y su contenido de agua están fuertemente afectados por la salinidad (Rhoades et al, 1976; Malicki, 1978; Nadler y Frenkel, 1980; Van Loon et al, 1991; Malicki, 1993).

II. EXPERIMENTO

2.1.- Introducción y objetivos

La disponibilidad de agua dulce va disminuyendo con el tiempo porque la demanda de agua es cada vez mayor, lo que nos lleva a que el riego con agua salina sea cada vez más inevitable. Esto crea la necesidad de conocer la tolerancia a la salinidad de especies y variedades, y de desarrollar un riego lo más eficientemente posible si queremos hacer sostenible la práctica del riego (Skaggs et al., 2006). Las características de la producción de plantas ornamentales hacen que estas se potencialmente buenas receptoras de aguas marginales. Efectivamente, en algunos países hay iniciativas para regular el uso de las aguas, en donde las aguas marginales suelen ser recomendadas para el riego de la producción viverística ornamental, jardinería y paisaje urbano (Tanji and Grattan, 2007).

El problema es que la sal suele afectar negativamente al crecimiento y desarrollo de las plantas. La salinidad produce efectos osmóticos y las plantas deben gastar más energía para extraer el agua del suelo, sufriendo retrasos en el crecimiento por el estrés hídrico producido. Igualmente puede producir toxicidad por iones específicos y desequilibrios en iones nutritivos (Grattan y Grieve, 1999, Bayuelo-Jiménez et al., 2003), siendo el sodio y el cloruro considerados habitualmente tóxicos para las plantas (Hasegawa et. al, 2000). La magnitud de los daños salinos dependerá de la sensibilidad de la planta a la salinidad, porque las plantas desarrollan distintos mecanismos fisiológicos para hacer frente a los efectos perjudiciales de la sal. El control de la absorción de iones por las raíces y el transporte en las hojas, la acumulación selectiva o exclusión de la sal y la compartimentación de iones son claro ejemplo de ellos (Parida and Das, 2005). Tradicionalmente, para evaluar la tolerancia a la salinidad se ha considerado la producción de materia seca de toda la planta (Ho and Adams, 1994) o de distintos órganos. La reducción del área foliar, del número de hojas o del número de flores se ha relacionado con la sensibilidad a la salinidad en distintas especies (Franco et al., 1997).

La producción de planta de flor es una importante actividad de la horticultura en todo mundo. *Osteospermum* es una planta ornamental muy vistosa porque produce numerosas flores, pero que apenas se conocía hace veinticinco años. En la última década ha aumentado su popularidad como planta de jardín en borduras, macizos y

macetas, y actualmente hay disponibles numerosos híbridos reproducidos por esqueje para ser cultivados con temperaturas frescas y florecer en primavera. *Osteospermum* es considerada como una planta que crece bien bajo condiciones salinas (Pasternak and Nerd, 1995) y que es resistente a la sequía (Treder and Nowak, 2001). Además, muchos de sus híbridos crecen vigorosamente (Gibson and Whipker, 2003) por lo que la salinidad puede ayudar a reducir el tamaño y mejorar su compacidad (Valdés et al., 2013). Sin embargo, son pocos los trabajos científicos que se han realizado para determinar su grado de tolerancia a la sal.

La tolerancia a la salinidad de las plantas debe considerarse también a la luz del riego, lo que implica determinar el volumen de agua a aplicar y decidir el momento de la aplicación. Un manejo del riego adecuado puede ayudar a reducir los efectos negativos de la sal además de minimizar el gasto de agua (Oron et al., 2002). Esto implica el control de las sales, es decir, hay que saber cuánta sal estamos añadiendo con el riego y qué salinidad hay en cada momento en la solución del suelo.

En agricultura, la salinidad del suelo se suele expresar en términos de conductividad eléctrica (CE); por tanto, monitorizarla es clave para conocer el estado salino de los cultivos y poder actuar con el riego para controlar convenientemente las sales (Van Der Laan et al., 2011). Pero son distintas las CE que podemos medir de forma no destructiva durante un cultivo en maceta, como la CE del medio (CEM), la CE del agua de los poros (CEAP) y la CE del drenaje (CED). La CEM hace referencia a la CE del agua, sustrato y aire combinado, por lo que en principio es poco adecuada para predecir la respuesta de las plantas a la salinidad por la fuerte influencia que tiene la humedad sobre ella (Amente et al., 2000). Por el contrario, la CEAP tiene gran influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas porque es el agua que las plantas extraen del suelo. Uno de los métodos más aceptados para medir la CEAP in situ en los viveros es el PourThrough, porque muestrea la solución de la zona radicular sin ser destructivo (Cavins et al., 2008). Pero la CEAP puede ser también estimada por los sensores dieléctricos utilizando distintos modelos que la relacionan con la CE y permitividad del medio que son medidos por el sensor (Kargas and Kerkides, 2012). Sin embargo, distintos factores pueden afectar negativamente a esta estimación, como la salinidad de la solución del sustrato (Rosenbaum et al., 2011; Valdés et al., 2012). La CED es la conductividad más utilizada por los agricultores por la facilidad de recoger el drenaje en un cultivo en contenedor, pero su valor no tiene por qué coincidir con la

CEAP porque depende mucho de factores como la fracción de drenaje, condiciones ambientales durante el cultivo y las características físicas del sustrato usado (Ku and Hershey, 1991; Torres et al., 2010).

Por otro lado, actualmente hay disponibles en el mercado sensores de CE y humedad que pueden ayudar a mejorar la eficiencia del uso del agua de plantas en maceta y a mitigar los efectos negativos del riego salino (Incrocci et al., 2010). Estudios previos han demostrado que el uso de la CEAP estimadas con sensores de CE y humedad de suelo fue eficaz para mantener distintas condiciones salinas en cultivos de geranio en maceta bajo riego dual (agua salina y dulce) (Valdés et al., 2014). Incluso el uso de la CEM medida tras el riego resultó una herramienta útil para mitigar los efectos salinos en poinsetia en maceta (Valdés et al., 2014).

El objetivo de esta investigación fue estudiar las relaciones entre la CEAP estimada con el sensor GS3 (CEAP-GS3), la CE medida con el sensor GS3 (CEM), la CED y la CEAP medida por el método PourThrough (CEAP-PT). Igualmente, pretendimos conocer los efectos de los distintos niveles de salinidad en el agua de riego sobre el crecimiento, la presencia de clorosis y necrosis foliares y la acumulación de iones de plantas de *Osteospermum* para determinar su potencial para ser cultivado en jardinería bajo riego salino. Pensamos que la información derivada de esta investigación ayudará a interpretar las medidas de CE de los sensores de suelo o del drenaje, y a predecir mejor la respuesta a la salinidad de plantas cultivadas en maceta como el *Osteospermum*.

2.2.- Material y métodos

2.2.1.-Material vegetal

Cultivamos *Osteospermumhybrida* “Margarita Supreme Lilac”, perteneciente a la familia de las Asteráceas. Se trata de una planta perenne y vigorosa que dispone de numerosas y vistosas inflorescencias en capítulo de color púrpura, caracterizada por su adaptación a suelos pobres, salinidad y sequedad. Las plántulas procedían de esquejes

enraizados adquiridas en un vivero comercial (Barbaret&Blanc S.A.) de donde llegaron en bandejas de alveolos.

2.2.2.-Condiciones de cultivo

Las plántulas fueron trasplantadas en la primera semana de octubre de 2013 en macetas negras de PVC de un volumen de 2,8 L (17 cm Ø), en un medio de cultivo compuesto por un 40% turba rubia, 40% fibra de coco y 20% perlita (4:4:2). El experimento se llevó a cabo en un invernadero con 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) cubierto con polietileno y malla antipulgón, excepto en sus dos frontales (puertas) que sólo estaban cubiertos con la malla. La ventilación del invernadero se realiza por aperturas de los laterales y por las dos puertas frontales. Dicho invernadero estaba situado en la finca experimental Tomás Ferro de la Universidad Politécnica de Cartagena (37° 35' N, 0° 59' W) (Foto 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 (DecagonDevices, 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 del sensor cada minuto y para calcular el promedio y error estándar de sus lecturas externas. 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.

El CVA del sustrato se obtuvo de las lecturas de la permitividad del medio (ϵ) medida por la sonda, usando nuestra propia calibración del sustrato ($CVA = -0,0001 x^2 + 0,0168x + 0,0356$ con $R^2 = 0,9649$), determinada mediante el procedimiento de Valdés al. (2012). La sonda GS3 mide simultáneamente temperatura, permitividad eléctrica del medio y la conductividad eléctrica (CE) del medio (CE_M) en continuo. El CR1000 estaba programado para iniciar el riego cuando el CVA promedio de todos los tratamientos bajaba de $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Sin embargo, para lograr estar presentes durante el

riego, el momento de riego fue dirigido manualmente evitando riegos en fin de semana y haciendo que el riego se iniciara a las 9 de la mañana. El sensor GS3 fue insertado verticalmente en el sustrato en la cara sur-oeste (entre dos goteros) (Foto 5). La CE de los poros (CE_{AP}) estimada con los datos del sensor se realizó según el modelo de Hilhorst (2000). Para la recogida de datos disponíamos de tres sensores GS3 por cada tratamiento conectados al datalogger.

Para que el CR1000 pudiera controlar los riegos eran necesarias válvulas solenoides conectadas a un multiplicador de puertos multicontrol SMD-CD16D (Campbell Scientific, Ltd, Logan, UT), que accionaron los relés AZ8222-2C-5DME (ZettlerComponents Inc., Aliso Viejo, CA). Cada una de las válvulas solenoides y puerto de control de relé se asoció a un tanque de riego de 250 l. En total contamos con ocho tanques de 250 L que abastecían a las plantas mediante dos emisores de $1,2 \text{ L h}^{-1}$.

Las condiciones de temperatura y humedad relativa ambiental fueron registradas por el sensor LOG32 (TFA Dostmann GmbH Co. KG, Wertheim-Reicholzheim, Germany). La radiación fotosintéticamente activa fue medida por un sensor cuántico (SQ-110; Apogee Instruments, Logan, UT)(Figura 1).

Las soluciones de nutritivas se realizaron mediante la mezcla de nitrato amónico, nitrato potásico y fosfato monopotásico. Para neutralizar los bicarbonatos y mantener el pH entre 5,5 y 6 se utilizó ácido nítrico al 54%. El abonó se calculó incrementando un $0,5 \text{ dSm}^{-1}$ la CE del agua de riego con un equilibrio de $80\text{N}-40\text{P}_2\text{O}_5-80\text{K}_2\text{O}$ (ppm). La CE del agua de riego (CE_{AR}) la ajustamos con cloruro sódico

2.2.3.-Tratamientos

Los tratamientos estudiados fueron ocho soluciones de riego con diferentes conductividades eléctricas (1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5 y 5 dS m^{-1}). Los tratamientos comenzaron el día 17 de noviembre de 2013 y finalizaron el 6 de Febrero de 2014. Todas las plantas fueron regadas con el mismo volumen de agua y cada riego tenía una duración de 12 minutos (aproximadamente 480 mL). Los riegos se daban escalonadamente cada 20 minutos desde las 9 h para poder facilitar la mediciones.

2.2.4.-Calibración de las sondas GS3

La calibración se realizó el 18 de octubre. En primer lugar el sustrato (aproximadamente 25 litros) se extiende sobre bandejas al aire libre durante varios días hasta que queda prácticamente seco. Un vaso de precipitado 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 de forma vertical una a una (Foto 6). Se anotan 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°C hasta peso constante. Estos pasos se repitieron 15 veces sobre una parte del sustrato añadiendo entre 200 y 500 ml de agua con el criterio de buscar distintos puntos de humedad. Se realiza una regresión de segundo grado donde Y es el CVA y X los valores de permitividad del medio.

2.2.5.-Consumo de agua y drenaje

El agua aplicada fue obtenida del programador de riego, y se verificó en cada riego colocando en cada una de las mesas dos goteros dentro de una botella en cada uno de los tratamientos. A partir del primer riego y durante todo el experimento se recogieron los drenajes de tres plantas para cada tratamiento. Para ello, se forró la maceta por la base con una bolsa de plástico y se hizo una abertura para dejar pasar el agua drenada. El drenaje era recogido con ayuda de un embudo y una botella (Foto 3). A todos los volúmenes de riego y drenajes se les midió el pH y la CE mediante dos aparatos portátiles, un OaktonpHTestr 30 (Eutech Instruments PteLtd, Singapore, Singapore) y un ECTestr11 (Eutech Instruments PteLtd, Singapore, Singapore).

2.2.6.-Conductividad eléctrica del agua de los poros

Tras cada riego se midió la conductividad eléctrica de los poros (CE_{AP}) pasados treinta minutos después de finalizar el riego, según el método PourThrough

(Camberatoet al., 2009). Este es uno de los métodos más aceptados para medir la CE_{AP} in situ en los viveros, ya que muestrea la solución de la zona radicular sin ser destructivo (Cavinset al., 2007). Se midieron tres plantas por tratamiento en cada riego. Se añadió agua destilada (80mL) tras 30 minutos del riego que permitía recoger aproximadamente 50 mL de drenaje para medir el pH y la CE (Foto 4). En todas las medidas el agua destilada se aplica sobre la misma posición de la superficie del sustrato (entre los dos emisores).

2.2.7.-Medidas de SPAD

El medidor de clorofila SPAD 502(Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón) realiza medidas relativas de clorofila, colocando el medidor sobre el tejido de la hoja y disparando para recibir una lectura del contenido de clorofila (0-99.9). Las medidas se toman simplemente insertando una hoja y cerrando el cabezal de medida sin necesidad de cortar la hoja.Las hojas analizadas procedían de la parte central de los brotes y orientadas al noroeste. Este proceso se realizó una vez a la semana coincidiendo con el día de riego. Se tomaban ocho medidas por tratamiento, y cuatro repeticiones por planta.

2.2.8.-Medidas de crecimiento y desarrollo

Al final del experimento (segunda semana de febrero) se midió la altura y anchura de la planta, peso seco aéreo, número de hojas totales, área foliar, número de inflorescencias y número de hojas con daños necróticos. Para el cálculo del área foliar utilizamos un medidor de área foliar (LI-3100C, Biociencias LI-COR, Lincoln, NE). Se deshojaron las plantas, y las hojas se separaron en hojas sanas y hojas con algún daño necrótico. Esto lo hicimos así para calcular el número de hojas totales y el porcentaje de hojas con daño foliar. Para calcular el peso seco colocamos el material vegetal en un sobre identificado y se introdujeron en una estufa de convección natural (modelo 2002471, JP Selecta, SA, Barcelona, España) a 60 °C hasta peso constante, este proceso duró aproximadamente una semana.

Calculamos un índice de crecimiento radicular (ICR) basado en la presencia de raíces en el cepellón. Fotografiamos 5 caras, cuatro laterales según su orientación cardinal y otra de la base de la maceta. Sobre las fotografías tomadas calculamos un porcentaje de presencia radicular sobre la superficie del cepellón mediante un análisis de contrastes con el programa Assess 2.0 (ImageAnalysis Software forPlantDiseaseQuantification) (Foto 7).

2.2.9.-Determinación de iones minerales

El contenido de sodio, cloro, potasio, fósforo, calcio y magnesio fue determinado en la raíz y en las hojas. Se tomaron cuatro muestras de cada tratamiento y se introdujeron en sobres para proceder a su secado. Una vez secas fueron molidas. Después, pesamos 0,2 g de muestra molida en una balanza de precisión serie ST GRAM (sensibilidad de 10 mg y g hasta 1200, Gram Precisión, SL, Barcelona, España) y se le añadió 50 ml de agua destilada. Una vez estuvieron listas todas las muestras las introdujimos en un agitador durante 30 min a 117 rpm y 27°C. Finalmente, las mezclas fueron filtradas con ayuda de un embudo que contenía un filtro DP 145 110. Se tomaron 10 ml de este filtrado y fueron enviados para su análisis en un cromatógrafo Iónico (Meltron HM columna 838-861) del SAIT de la Universidad Politécnica de Cartagena.

2.2.10.-Diseño y análisis estadístico

Contamos con un total de 112 plantas. Cada tratamiento estuvo compuesto de 14 macetas, y 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 ($P < 0,05$). Los análisis de regresión fueron realizados con el programa SigmaPlot 10.0 (Systat Software Inc., San Jose, CA).



Foto 1.- Disposición material vegetal en el invernadero



Foto 2.- Disposición de tratamientos en filas



Foto 3.- Sistema recogida volumen de riego y drenaje



Foto 4.- Método PourThrough



Foto 5.- Detalle de la sonda GS3 y colocación de los goteros en la maceta



Foto 6.- Calibración sondas GS3

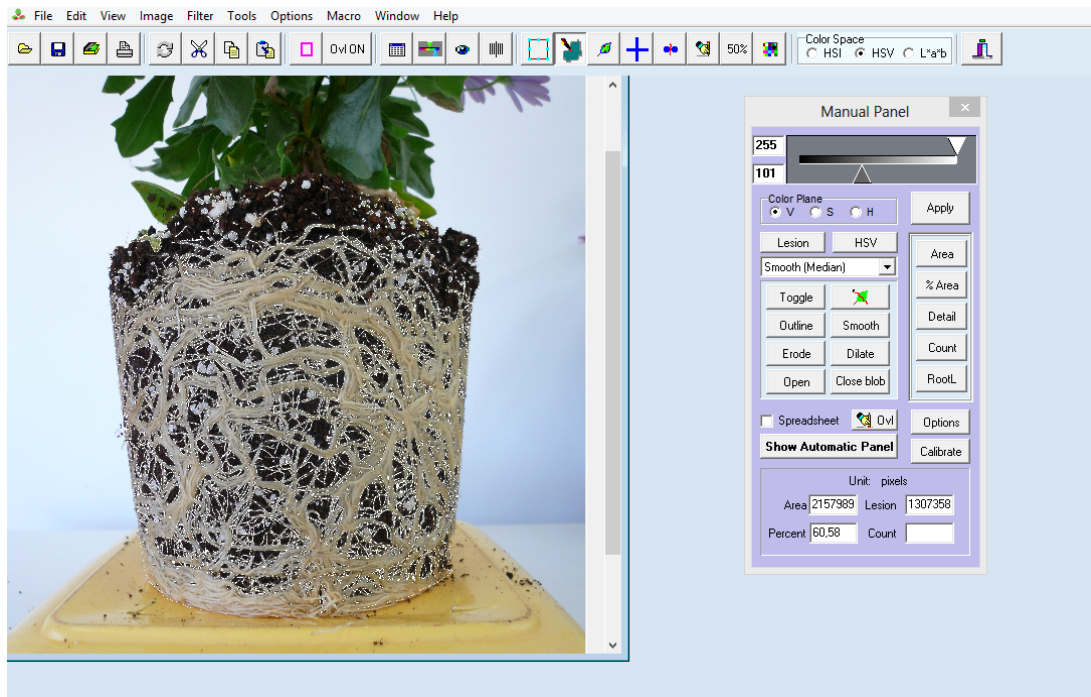


Foto 7.- Determinación del % de raíces mediante Asses 2.0



Foto 8.-Floración osteospermum

2.3.- Resultados y discusión

2.3.1.-Crecimiento y desarrollo

La tolerancia a la sal de las plantas suele evaluarse considerando la reducción del crecimiento de toda la planta o de partes específicas (Álvarez et al., 2012). Los resultados del presente estudio indican que el aumento de la CE del agua de riego (CE_{AR}) tuvo efectos significativos sobre algunos parámetros morfológicos de las plantas de *osteospermum*. Conforme aumentó la CE_{AR} menor altura tuvieron las plantas, mientras que la anchura no se vio afectada (Fig. 2A). Esto hizo que las plantas más salinizadas quedaran un poco más achaparradas que las menos salinizadas (Fotos 9,10 y 11). Esta reducción de la altura de *osteospermum* por la salinidad podría ser usado como método de control de la altura de variedades vigorosas, evitando o disminuyendo el uso de fitorreguladores (Valdés et al., 2013). Igualmente, este aspecto suele ser bien valorado por los agricultores, porque las plantas más compactas son más fáciles de mantener y transportar (Burnett and van Iersel, 2008). Igualmente, a mayor CE_{AR} menor peso seco aéreo tuvieron las plantas, lo que ocurrió según un ajuste lineal significativo con baja pendiente (Fig. 2B). Sin embargo, ni el número de hojas ni el área foliar fueron afectados por la sal (Figs. 2C, D), probablemente por la alta capacidad de *osteospermum* para producir hojas (más de 400 hojas por planta). Un peso seco aéreo reducido junto al mantenimiento del área foliar indica que la salinidad o redujo el peso seco de los brotes (más finos con entrenudos más cortos) y/o el área foliar específica (hojas menos gruesas). En la figura 3E observamos que el índice de crecimiento radicular (ICR) estudiado no fue alterado por la CE_{AR} , lo que indica una buena tolerancia a la salinidad de las raíces. Generalmente el crecimiento radicular se ve menos afectado por la sal que el aéreo (Shannon et al., 1994). En este ensayo *osteospermum* mostró un vigoroso sistema radicular desarrollado más en el exterior del cepellón que en el centro, lo que puede explicar la falta de efecto de la salinidad (Fotos 12 y 13).

Pero la tolerancia a la salinidad de las plantas ornamentales también se mide por aspectos estéticos (Bañón et al., 2012). El efecto de la salinidad sobre la presencia de flores tiene gran interés en plantas ornamentales, y en este ensayo la abundante presencia de inflorescencias en la planta (alrededor de 60) no fue afectada por la

salinidad (Fig. 2H), (Foto 8). Para valorar el verdor y/o la presencia de clorosis foliar en las hojas se midió la clorofila-SPAD (Monge and Bugbee, 1992), que no fue afectada por el incremento de la CE_{AR} (Fig. 2G). Niu and Cabrera (2010) observaron que las especies más sensibles a la salinidad reducían sus valores SPAD y, por tanto, este híbrido de *Osteospermum* puede considerarse sensible a la sal. Por el contrario, la presencia de hojas con daños necróticos (necrosis y quemaduras en los bordes de las hojas) fue mayor con el aumento de la CE_{AR} (Fig. 2H). Sin embargo, estos daños se centraron sólo en las hojas basales, porque esta planta tiende de forma natural a presentar hojas basales con partes quemadas como demuestra el hecho de que las plantas regadas con los niveles más bajos de CE presentaron alrededor del 15% de hojas (basales) con daños necróticos (Foto 14).

2.3.2.-Contenido de iones

La CE_{AR} aumentó la concentración de cloruro tanto en las hojas como en las raíces siguiendo una tendencia lineal significativa (Fig. 3A). *Osteospermum* almacenó más cloruro en las hojas que en las raíces, pero esta diferencia se fue atenuando conforme aumentaba la CE_{AR} . Las concentraciones foliares de cloruro fueron altas, con valores entre 75 y 90 mg g⁻¹. En cualquier caso, estas altas concentraciones de cloruro realmente no provocaron daños por necrosis y clorosis en las hojas, porque las muestras procedieron de la parte media de los brotes y las necrosis sólo fueron observadas en las hojas basales. Lo que sí demuestran es que *Osteospermum* es una planta tolerante a las altas concentraciones internas de cloruro, probablemente, por una eficiente compartimentación del cloruro (Sánchez-Blanco et al., 2004).

Aunque *Osteospermum* acumuló menos sodio que cloruro tanto en las hojas como en las raíces. Los ajustes lineales mostrados en la figura 3B indican que a mayor CE_{AR} mayor contenido de sodio en hojas y raíces. Las tasas de asimilación de sodio en las raíces fueron similares a la de las hojas bajo las CE_{AR} estudiadas, indicando que esta planta no tiene ningún mecanismo de restricción del sodio desde las raíces hacia las hojas.

Es bien sabido que las altas concentraciones de cloruro sódico pueden actuar antagonicamente con la absorción de distintos nutrientes, tales como potasio, calcio y

fósforo (Cramer et al., 1991; Grattan y Grieve, 1999). Así, en este estudio observamos que el potasio foliar disminuyó linealmente conforme aumentó la CE_{AR} , mientras que en las raíces ocurrió lo contrario (Fig. 3C). Valdez-Aguilar et al. (2009) encontraron que el incremento de la CE_{AR} redujo el contenido de potasio foliar en cultivares de tagetes cuando el pH de la solución de riego fue ácido (el pH de nuestra solución de riego fue también ácido). Por su parte, Escalona et al. (2013) encontraron una reducción de la absorción del potasio en las hojas de *Lobelia erinus* sólo cuando una solución de riego de 6 dS m^{-1} fue aplicada. Hay pruebas de que el contenido de sodio en la parte aérea influye en el transporte de potasio desde las raíces a las hojas (Song and Fujiyama, 1998), y por eso la capacidad de una planta para mantener una alta relación de potasio/sodio es un mecanismo clave asociado con tolerancia a la sal (Zeng et al., 2003). En este experimento, la tendencia ascendente del sodio y la descendente del potasio en las hojas, sugiere una bajada de potasio/sodio conforme aumenta la CE_{AR} .

El incremento de la CE_{AR} aumentó el contenido de fósforo radicular mientras que no afectó al foliar (Fig. 3D). Sin embargo, Papadopoulos and Rendig (1983) indicaron que la absorción del fósforo se reduce por los efectos antagónicos del exceso de cloruro de fósforo.

El calcio foliar disminuyó linealmente con la salinidad, mientras que en las raíces el ajuste lineal no fue significativo (Fig. 3E). Esto indica una caída del transporte de calcio desde las raíces a las hojas, probablemente porque el calcio interaccionó con el sodio (Cramer et al., 1985) y por la caída de la conductancia estomática ocasionada por la acumulación de ácido abscísico inducido por el efecto osmótico de la salinidad (Ashraf, 2004).

Los contenidos de magnesio en hojas y raíces no fueron alterados por la CE_{AR} (Fig. 3F), probablemente porque el agua de riego contuvo concentraciones muy altas de magnesio (70 mg L^{-1}). Además, la caída de la actividad del calcio por la salinidad aumentó la selectividad del magnesio sobre el calcio porque la competencia a nivel de membrana entre calcio y magnesio está bien establecida (Marschner, 1995). Esta estabilidad del magnesio en las hojas se corresponde con la estabilidad de la clorofila SPAD en las plantas de *osteospermum*, porque este catión tiene un importante papel en la estructura de la clorofila.

2.3.3.-Relaciones entre conductividades eléctricas

Los valores medios durante el experimento de la CE del agua de los poros medida tras el riego por el sensor GS3 (CE_{AP-GS3}) respondieron al aumento de la CE_{AR} según un ajuste lineal significativo. Igualmente ocurrió para la CE del agua de los poros medida por el método PourThrough (CE_{AP-PT}) y para la CE del drenaje (CE_D) (Fig. 4A). Estos ajustes presentan coeficientes de determinación (r^2) que indican que las relaciones fueron muy fuertes. Como era previsible, la pendiente positiva de los ajustes indica que a mayor CE_{AR} mayores fueron los valores de las tres conductividades. Los registros de CE_D fueron más altos que los de la CE_{AP-PT} . Una posible explicación la encontramos en que la primera parte del drenaje suele arrastra muchas más sales que el resto del drenaje, mientras que el último drenaje suele contener menos sales y se parece más al drenaje recogido por el PourThrough. Conforme aumentó la CE_{AR} mayor fue la desviación entre la CE_D y la CE_{AP-PT} , porque hubo una mayor variabilidad de los valores de CE_D con las CE_{AR} más altas. Esto parece ligado a que la CE_D depende fuertemente de la fracción de drenaje (Ku and Hershey, 1992), de la falta de uniformidad de humedad en el sustrato (Valdés et al., 2014) y de una evolución fisiológica más irregular de las plantas salinizadas. Por el contrario, los registros de CE_{AP-GS3} fueron más bajos que los de la CE_{AP-PT} , y como ocurrió con la CE_{AP-GS3} , conforme aumentó la CE_{AR} mayor fue la variabilidad de las medidas de CE_D y consecuentemente mayor fue la desviación entre la CE_D y la CE_{AP-PT} (Fig. 4A). Este fue un comportamiento que no nos sorprendió porque la CE_{AP-GS3} es una estimación de la CE y permitividad del medio según el modelo matemático de Hilhorst (2000), que está influenciado por distintos factores como la salinidad (Campbell, 2002; Kargas and Kerkides, 2010; Valdés et al., 2012), humedad (Decagon, 2014) y tipo de suelo (Nadler, 2004). Kargas and Kerkides (2012) comprobaron que el modelo de Hilhorst sobrestima la CEAP para valores de salinidad hasta $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, mientras que para valores mayores la subestima, como ocurrió en este experimento.

En la figura 5 presentamos los ajustes de regresión CE_{AP-PT} vs. CE_D , CE_{AP-PT} vs. CE_{AP-GS3} y CE_{AP-PT} vs. CE_{M-GS3} . Todos ellos muestran una significativa relación lineal positiva. Los r^2 indican una fuerte relación para los tres ajustes, siendo la CE_D la conductividad que presenta una relación más fuerte con la CE_{AP-PT} . Estas ecuaciones de regresión confirma lo observado en la figura 4A, que el valor de la CE_D sobrestima la

salinidad de la solución del sustrato (CE_{AP-PT}), mientras que el valor de la CE_{AP-GS3} la subestima. Y que cuanto mayor es la CE_{AR} , mayores son ambos errores. La pendiente del ajuste CE_{AP-PT} vs. CE_{M-GS3} indica que la CE_{AP-PT} fue 3-4 veces mayor que la CE_{M-GS3} . Sin embargo, la CE_{M-GS3} estuvo mejor relacionada (mayor r^2) con la CE_{AP-PT} que la CE_{AP-GS3} , probablemente porque fue medida tras el riego (con alta y constante humedad), ya que esta CE está fuertemente influenciada por la humedad del suelo (Rhoades et al., 1989; Mualem and Friedman, 1991; Robinson et al., 1999).

Esto sugiere que la CE_M puede ser un indicador útil de las condiciones salinas que soportan las plantas, a pesar de las diferencias cuantitativas con la CE_{AP} . Claros indicios de ello fueron encontrados cuando la CE_M fue medida tras el riego en cultivos en maceta de hortensia (Valdés et al., 2013) y poinsetia (Valdés et al., 2014). En este experimento encontramos un ajuste lineal significativo entre la CE_{AP-GS3} estimada por el modelo de Hilhorst (2000) y la CE_{M-GS3} medida con el GS3 (Fig. 6), que fue mejor (mayor r^2) después de regar (alta humedad) que antes del riego (media humedad). Además, cuando este ajuste fue hecho con alta humedad en el sustrato la pendiente de la recta de regresión fue menor que cuando se hizo con el sustrato menos húmedo, indicando que conforme aumenta la humedad en el medio más se aproximan ambas conductividades. Estudios realizados por Amente et al. (2000) confirmaron la dificultad de estimar con precisión la relación entre ambas conductividades a muy baja humedad.

2.3.4.-Medidas de pH

Tanto el pH del drenaje (pH_D) como el pH medido por el método PourThrough (pH_{PT}) no fueron afectados por el aumento de la CE_{AR} , resultando en ajustes lineales no significativos (Fig. 4B). Parece claro que la adición de ácido nítrico en todas las soluciones de riego para regular el pH mantuvo un pH ácido y estable en la solución del sustrato. No obstante, el pH_D siempre fue un poco más alto (alrededor de medio punto) que el pH_{PT} , probablemente como resultado de la dilución de lixiviado con el agua destilada aplicada por el PourThrough (Cavins et al., 2000). Como consecuencia de esto, el ajuste lineal entre el pH_{PT} y el pH_D no fue significativo (Fig. 7).

2.3.5.-Evolución de la CE del agua de los poros medida según el método PourThrough

La figura 8 muestra un aumento paulatino de la CE_{AP-PT} en todos los tratamientos conforme avanzan los días de cultivo, siendo más pronunciada en las CE_{AR} más altas. No obstante, en todas las gráficas se produjeron altibajos en CE_{AP-PT} , porque el porcentaje de drenaje variaba entre riegos (datos no mostrados). En las últimas semanas de cultivo se muestran importantes diferencias en CE_{AP-PT} entre los cuatro valores de CE_{AR} más bajos (de 1,5, 3, 3,5 y 3 $dS\ m^{-1}$) y los cuatro más altos (de 3,5, 4, 4,5 y 5 $dS\ m^{-1}$). Así, al final del cultivo hubo una diferencia de 1,6 $dS\ m^{-1}$ de CE_{AP-PT} entre los tratamientos de 3 $dS\ m^{-1}$ y 3,5 $dS\ m^{-1}$, lo que sugiere que un aumento de la CE_{AR} por encima de 3 $dS\ m^{-1}$ producirá un aumento proporcionalmente mayor de la CE_{AP-PT} al final del cultivo, con clara repercusión sobre la CE_{AP-PT} promedio.

El estudio de regresión entre la CE_{AR} aplicada y los valores medios de CE_{AP-PT} conduce a un ajuste lineal significativo, donde las dos variables están fuertemente relacionadas (Fig. 8). En la curva de ajuste observamos que el riego con una determinada CE produce valores medios de CE_{AP} algo superiores, y estas diferencias serán mayores conforme aumente la CE_{AR} .

2.3.6.-Evolución de la CE y del contenido volumétrico de agua del sustrato determinada con el sensor GS3

En la figura 9 se muestra la evolución del CVA, CE_{AP-GS3} y CE_M bajo las diferentes CE_{AR} durante una parte del periodo experimental. Observamos que las macetas regadas con las CE más bajas retenían menos agua tras el riego y alcanzaban un CVA más bajo antes del riego. Esto parece consecuencia del criterio de riego empleado (todas las plantas se regaban al mismo tiempo y cuando se alcanzaba un umbral promedio de humedad entre las ocho CE_{AR} estudiadas) y del efecto restrictivo de la salinidad sobre el crecimiento de las plantas (las plantas menos salinizadas son las que consumen más aguas porque tienen mayor desarrollo foliar y mejor estado fisiológico que el resto).

En todos los casos observamos un descenso de la curva de humedad tras el riego debido al consumo de agua de la planta y la evaporación del sustrato, descenso que es más pausado conforme aumenta la CE_{AR} (Figs. 9, 10 y 11) porque la planta transpira menos al tener menos superficie foliar (Fig. 2) y porque el sustrato con sal evapora menos al retener mejor el agua. Conforme aumenta la salinidad del agua de riego las curvas de humedad van teniendo una evolución más errática, con pequeños valles o altibajos (Fig. 9), que podemos relacionar con el efecto de la salinidad sobre la lectura del EC5.

La evolución de la CE_M mantiene un patrón más o menos estable entre riegos bajo todas las CE_{AR} (Fig. 9). Justo después del riego aumenta fuertemente porque aumenta la humedad, para caer progresivamente conforme se deseca el sustrato. Sin embargo, en todas las curvas de CE_M se aprecian pequeños valles (Fig. 9, 10 y 11), que son más visibles con valores altos de CE_M (ocasionados por una mayor humedad y salinidad). Así, bajo $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ en el agua de riego (Fig. 10) estos valles caídas son muy suaves porque la CE_M es baja, mientras que bajo 5 dS m^{-1} son muy evidentes (Fig. 11). Si observamos los valores de temperatura del sustrato mostrados en las figuras 10 y 11 encontramos indicios de relación entre la subida de la temperatura y estas pequeñas depresiones de la CE_M . Parece que la temperatura afecta a la lectura de CE_M , influencia que puede ser directa o indirecta por el efecto de la temperatura sobre la humedad. Por otro lado, la CE_M tras el riego (máxima humedad) aumenta conforme aumenta el nivel salino mientras que la CE_M justo antes de regar (condiciones menos húmedas) varía menos por la fuerte influencia de la humedad (condiciones más secas camuflan más la salinidad). Esto hace que la pendiente de la recta que pasa por la coordenada tras el riego y la coordenada justo antes de regar (o mejor, la pendiente del ajuste lineal de todos los valores de CE_M medidos cada media hora) varíe, y parece que está pendiente aumenta conforme más alta son las condiciones salinas (Figura 9). Así, podemos plantear que a mayor pendiente mayor salinidad (y lo contrario), y por tanto podríamos tomar a esta pendiente como índice de referencia para saber las condiciones salinas que sufren las plantas y para regular la salinidad mediante lavados.

Respecto a la evolución de la CE_{AP} , en las macetas regadas con menos sal aumenta tras el riego (Fig. 9), en contra de lo esperable. Podríamos pensar que justo antes del riego la presencia de sales era muy baja porque la planta fue absorbiendo con gran eficacia los iones minerales (sistema radicular potente y efectivo), y la llegada a la

maceta de la solución de riego se añade fertilizantes y otros iones que elevan la CE_{AP} . Pero este comportamiento sucede incluso con 3 dS m^{-1} de CE_{AR} (Fig. 9D), conductividad que provoca un nivel claro de salinidad. Esto sugiere que la estimación de la CE_{AP} por el modelo de Hilhorst no es muy precisa porque una vez añadida la sal con el riego, conforme al agua del sustrato disminuye la concentración de sal tiene que aumentar. Lo que si apreciamos a partir de 2 dS m^{-1} es que los valores de CE_{AP} máximos entre dos riegos van aumentando con el avance de los días de cultivo (Fig. 9), hecho que concuerda con los datos evolutivos de la CE_{AP-PT} presentados en la figura 6. Por tanto, la estimación de la CE_{AP} bajo alta humedad sería más precisa que con menor humedad.

Pero cuando la CE_{AR} es igual o superior a $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ la CE_{AP} disminuye tras el riego porque el agua diluye y lava las sales del sustrato, y va aumentando gradualmente hasta el siguiente riego como cabría esperar. Sin embargo, esta curva evolutiva aparece muy errática (Figs. 9, 10 y 11), con claras oscilaciones que son todavía más evidentes conforme aumenta la salinidad (Fig. 9). En la figura 11 podemos apreciar como las temperaturas mínimas se corresponden con los picos de CE_{AP-GS3} . Por tanto, la estimación de CE_{AP-GS3} por el modelo de Hilhorst parece afectada por la salinidad y la temperatura.

2.4.- Conclusiones

En general, la salinidad afectó poco al crecimiento y al aspecto ornamental de las plantas, indicando que este híbrido de *osteospermum* es moderadamente resistente a la salinidad. Los efectos más evidentes fueron la ligera reducción de la altura de la planta y del peso seco aéreo, y la acentuación de la presencia de hojas basales con daños necróticos. La tolerancia a la salinidad de *osteospermum* parece estar relacionada con su alta capacidad para acumular cloruro en las hojas sin manifestar daños porque realiza una compartimentación intracelular adecuada.

La CE_D y la CE_{AP} medida con el sensor GS3 son indicadores bien relacionados con el nivel de salinidad de la solución del sustrato, aunque el primero sobreestima la salinidad y el segundo la subestiman. Conforme aumenta la salinidad del riego ambas conductas se acentúan porque hay una mayor variabilidad en los registros de ambas

conductividades. La CE_M también está bien relacionada con la CE_{AP-PT} . La CE_{AP-GS3} y la CE_{M-GS3} estuvieron bien relacionadas linealmente, especialmente cuando fueron medidas tras el riego.

La salinidad de la solución del sustrato aumenta conforme avanza el cultivo, pero este aumento no es proporcional a la CE_{AR} .

La evolución de la CE_M entre riego bajo las distintas condiciones salinas presentó un patrón más estable que la CE_{AP-GS3} . Además de la humedad y la salinidad, parece que la temperatura afecta también a la lectura de la CEM.

La estimación de la CEAP por el modelo de Hilhorst parece poco precisa, por ser afectada por la salinidad, temperatura y humedad del sustrato.

El pH fue estable bajo todos los riegos salinos, y el pH medido en el drenaje fue un poco mayor al pH medido por el PourThrough.

Agradecimientos

Agradecemos la ayuda financiera recibida por el Ministerio de Economía y Competitividad y el FEDER, a través de los proyectos (AGL2011-30022-C02-1 y AGL2011-30022-C02-2).

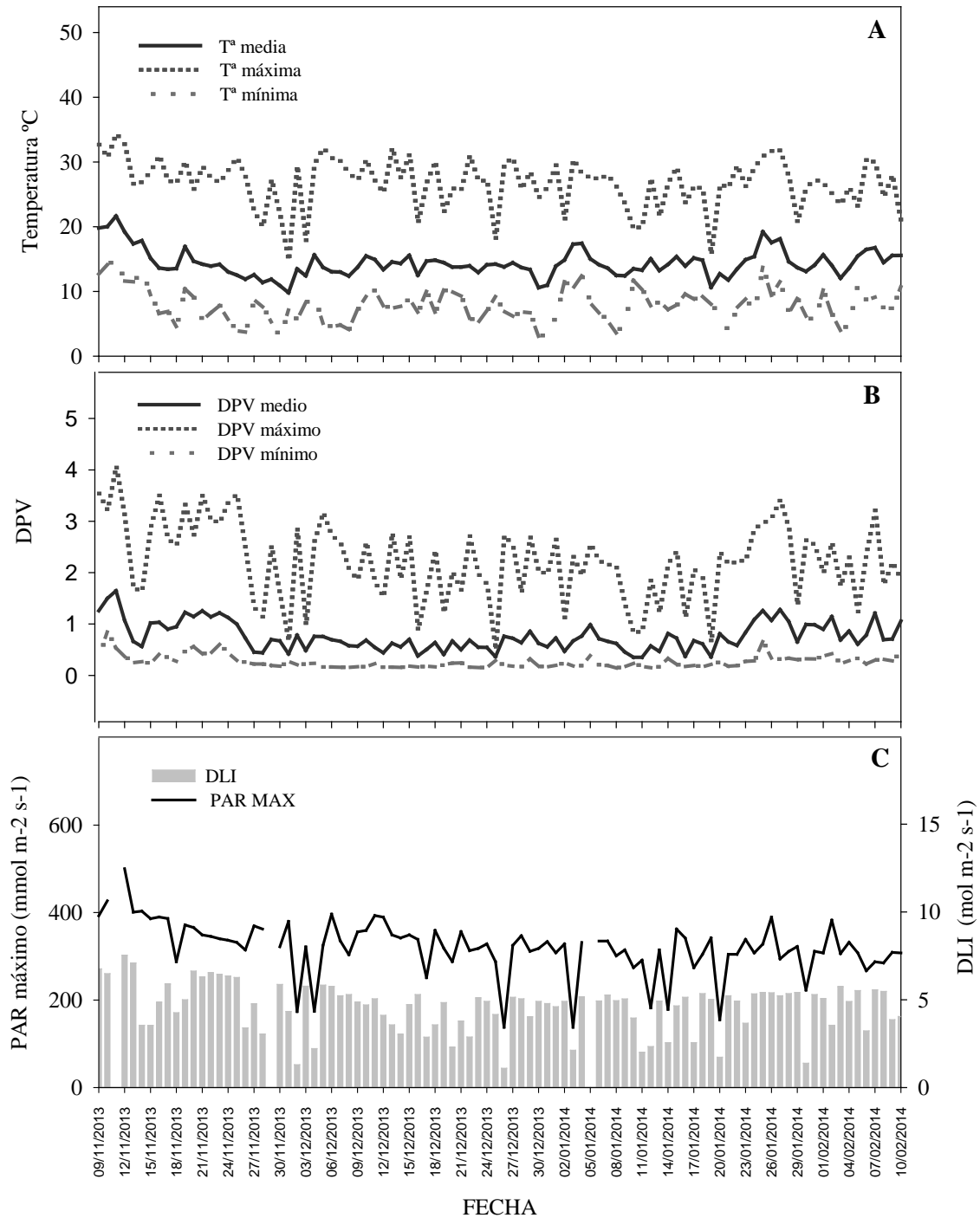


Figura 1.- Condiciones climáticas en el interior del invernadero durante el cultivo. Temperaturas medias, mínimas y máximas (A), déficit de presión de vapor medio, mínimo y máximo (B), PAR máximo e integral diaria de la luz (C). Los datos representados fueron medidas diarias.

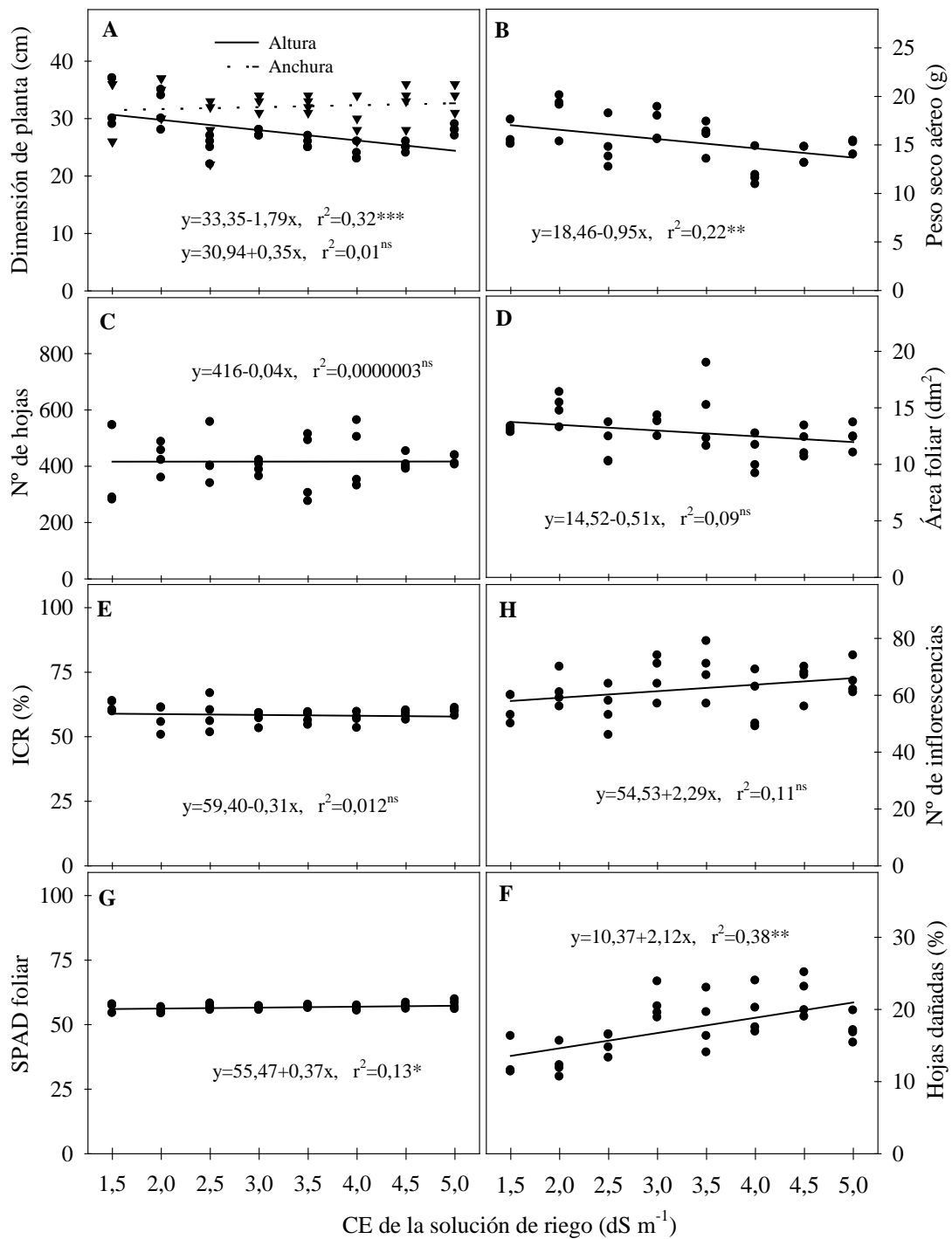


Figura 2 - Efecto de la CE del agua de riego sobre el crecimiento y desarrollo

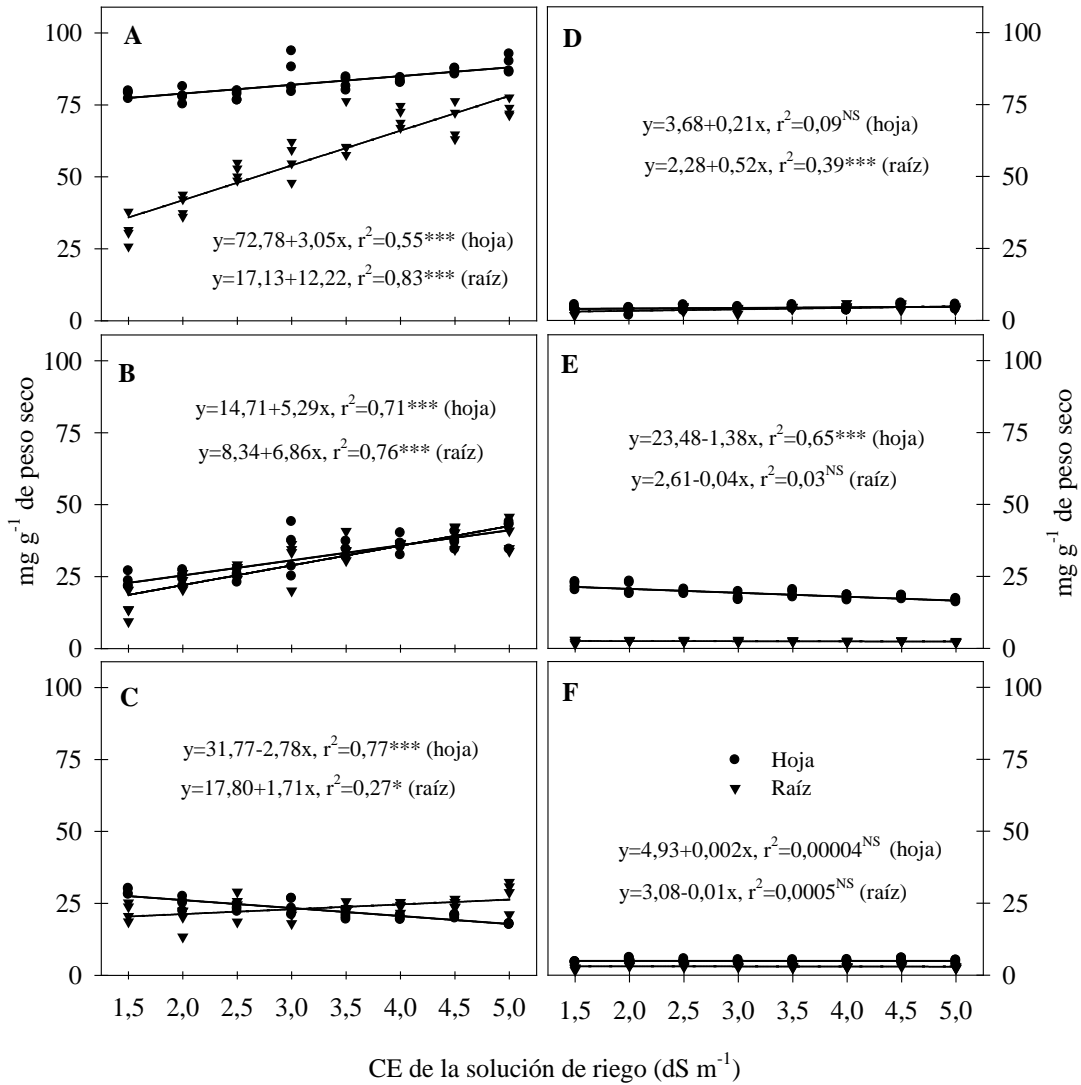


Figura 3 - Efecto de la CE del agua de riego sobre la acumulación de iones en las hojas y raíces. A) cloruro, B) sodio, C) potasio, D) fósforo, E) calcio y F) magnesio

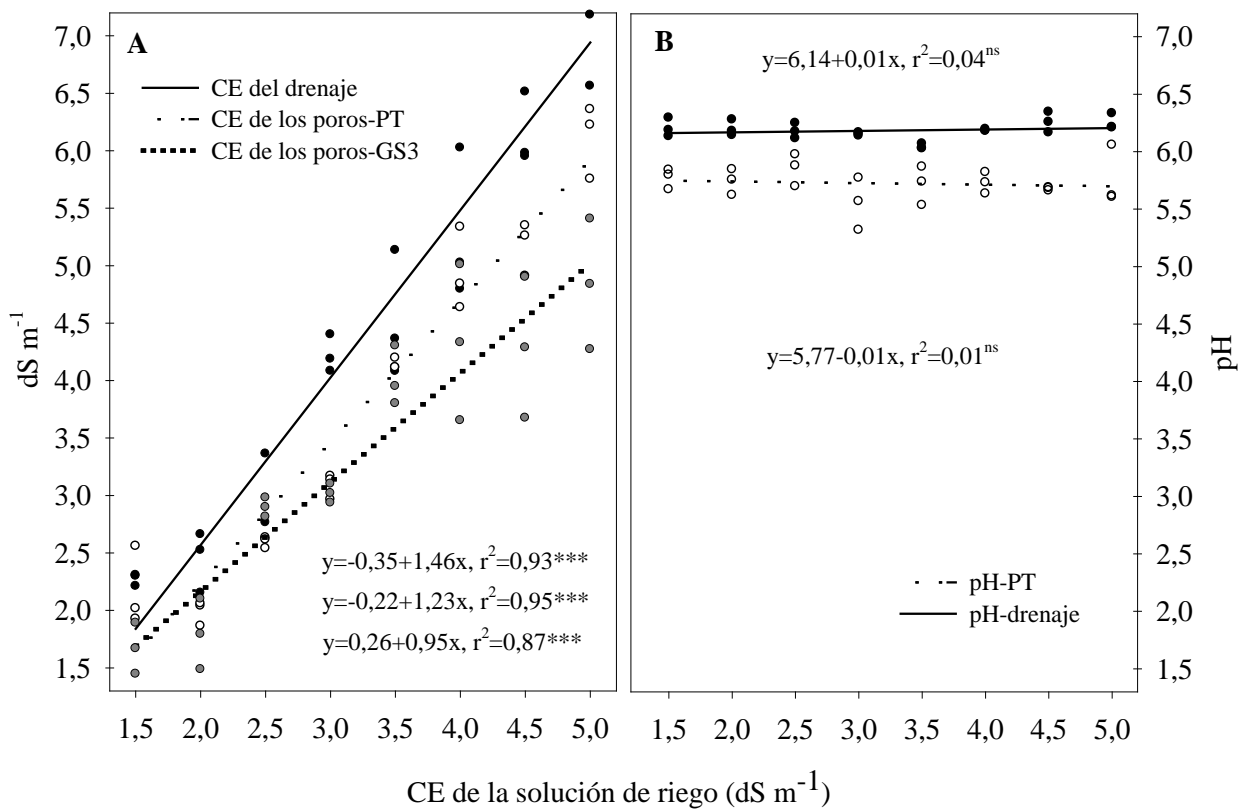


Figura 4 - Estudio de la relación entre los valores promedios de CED, CEAP-PT, CEAP-GS3 y la CEAR (A). Estudio de la relación entre los valores promedios de pH-PT y pH-D y la CEAR (B).

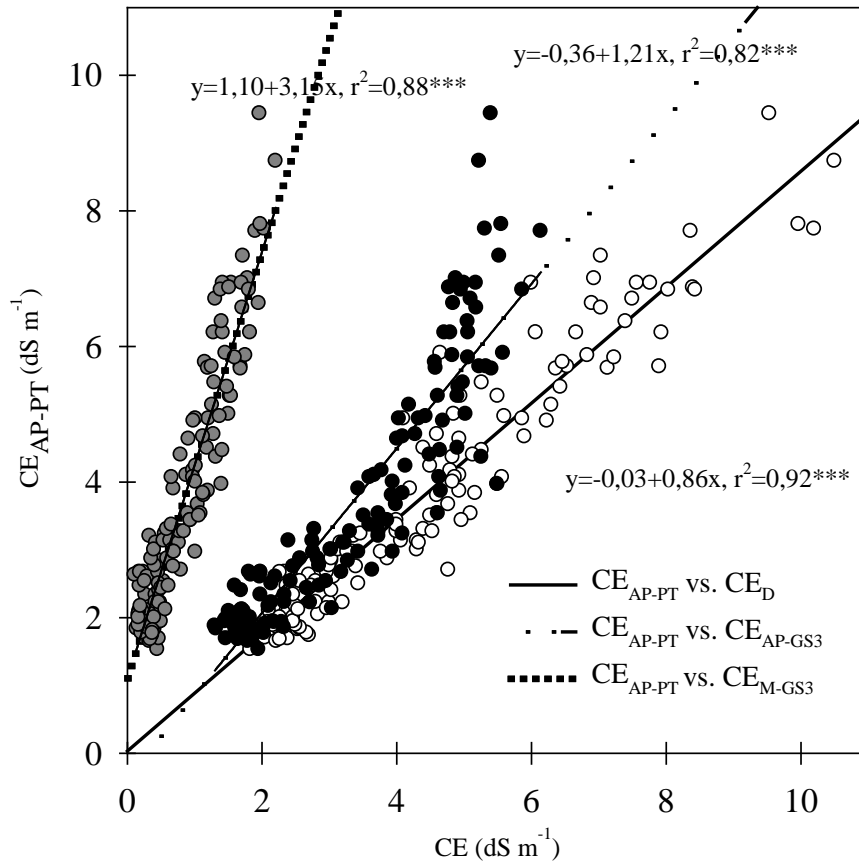


Figura 5 - Estudio de las relaciones lineales de los ajustes CE_{AP-PT} vs. CE_{AP-GS3} , CE_{AP-PT} vs. CE_D y CE_{AP-PT} vs. CE_{M-GS3}

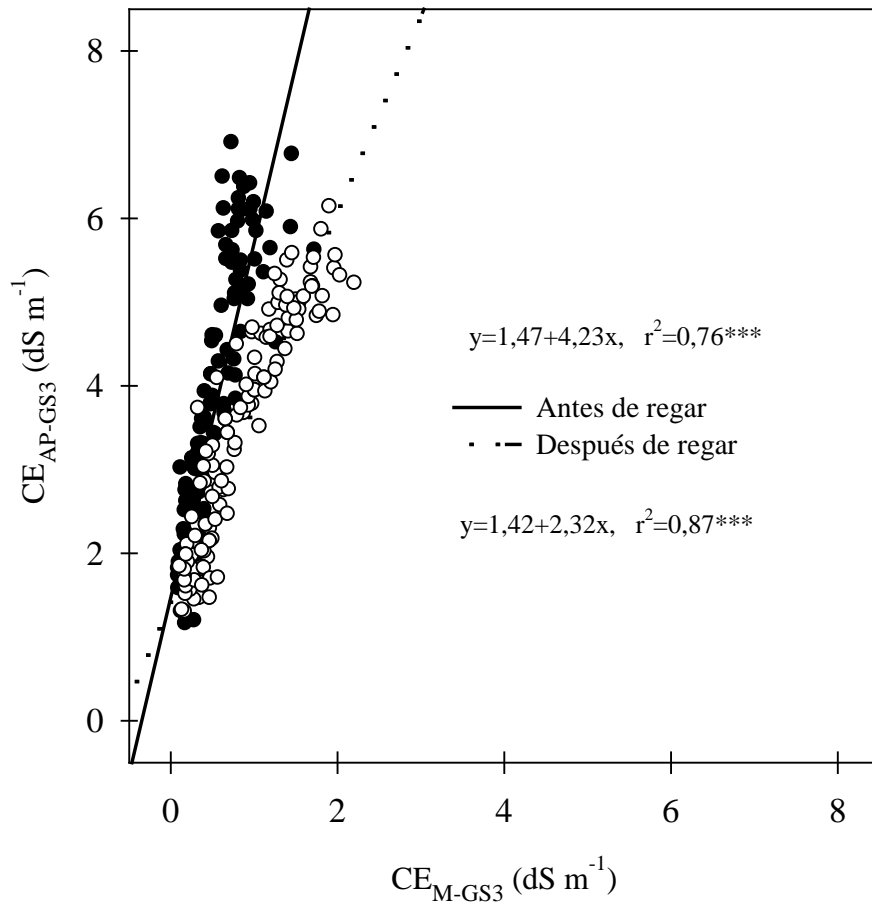


Figura 6 - Estudio de la relación de la CE_{AP} vs. CE_M obtenidas con el sensor GS3

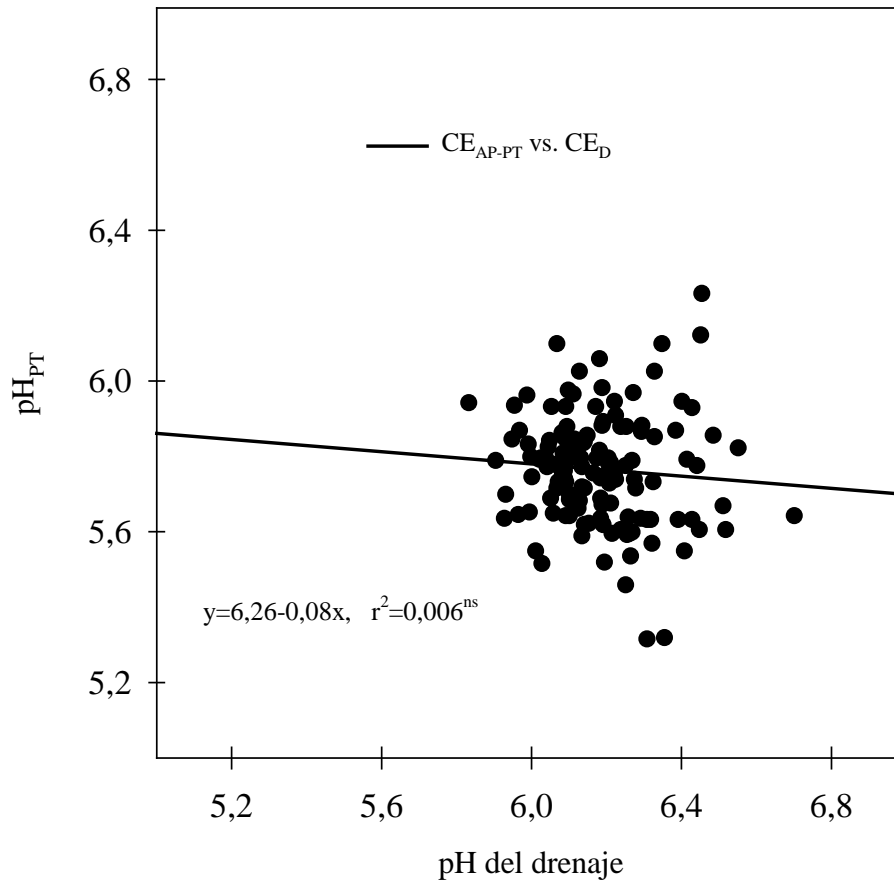


Figura 7 - Evolución del pH del drenaje y el pH medido por el método PourThrough

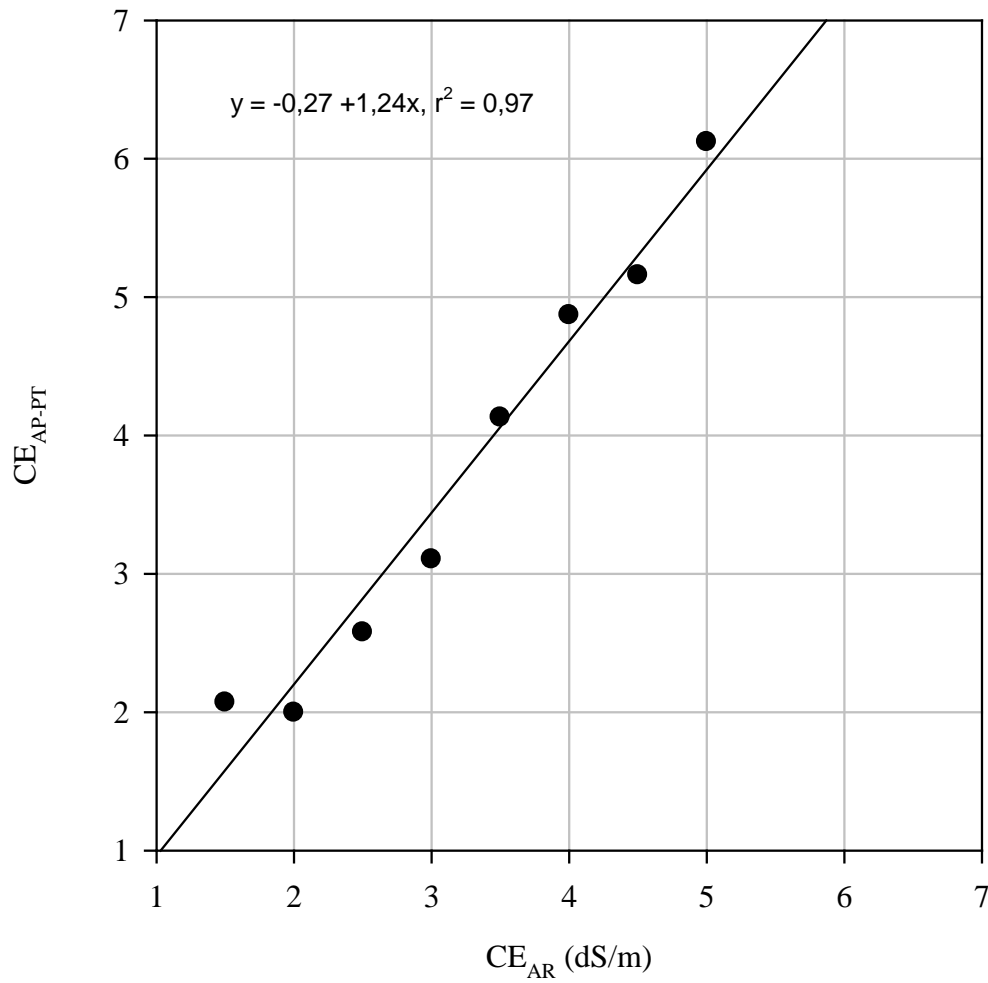


Figura 8 - Relación entre los valores medios de CE_{AR} a lo largo del cultivo y CE_{AP-PT}

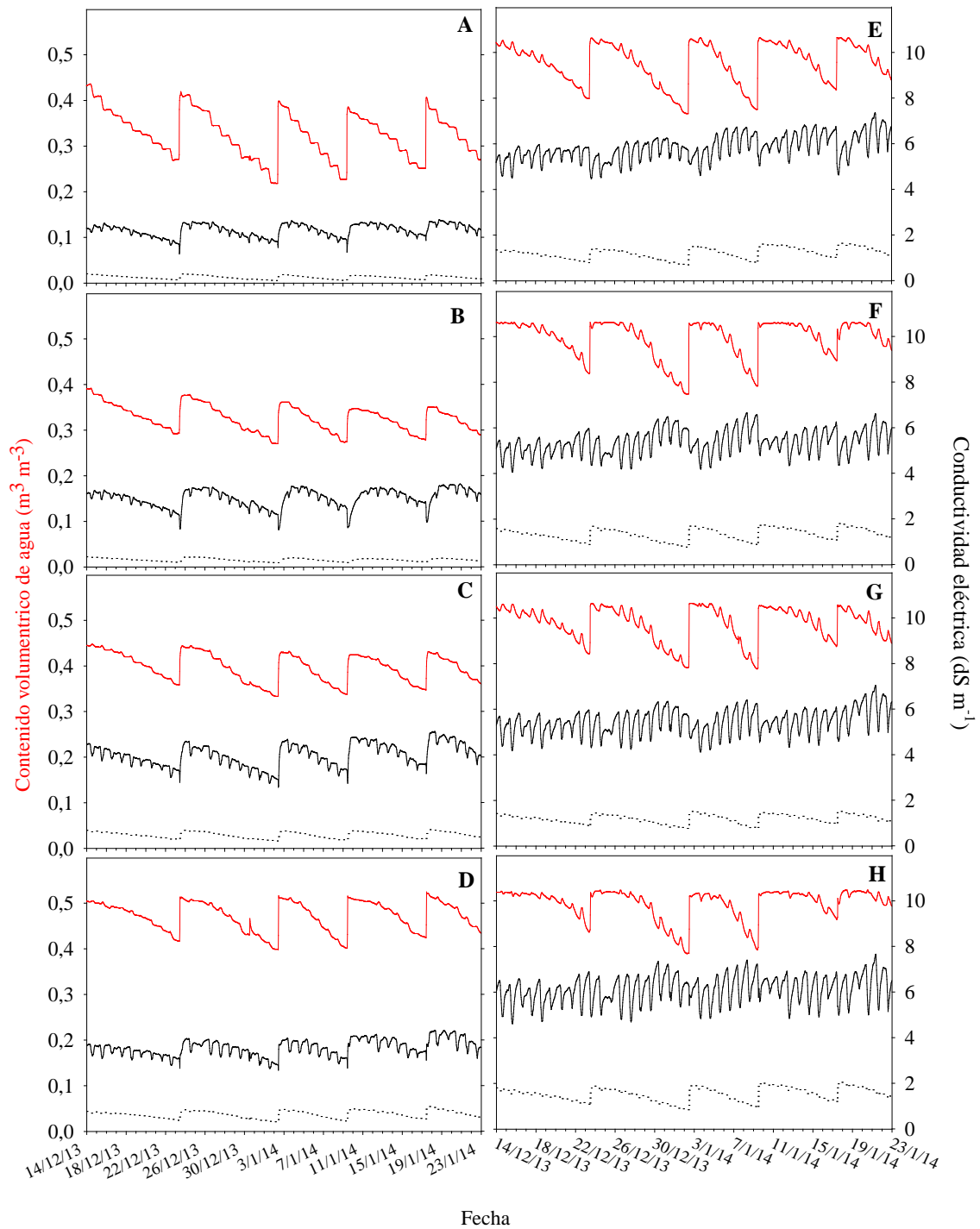


Figura 9 - Evolución del contenido volumétrico de agua (línea roja), conductividad eléctrica de los poros (línea negra) y conductividad eléctrica del medio (línea punteada) durante un mes desde el 14 de diciembre de 2013 hasta el 23 de enero de 2014. A) 1,5 dS m⁻¹; B) 2 dS m⁻¹; C) 2,5 dS m⁻¹; D) 3 dS m⁻¹; E) 3,5 dS m⁻¹; F) 4 dS m⁻¹; G) 4,5 dS m⁻¹; H) 5 dS m⁻¹.

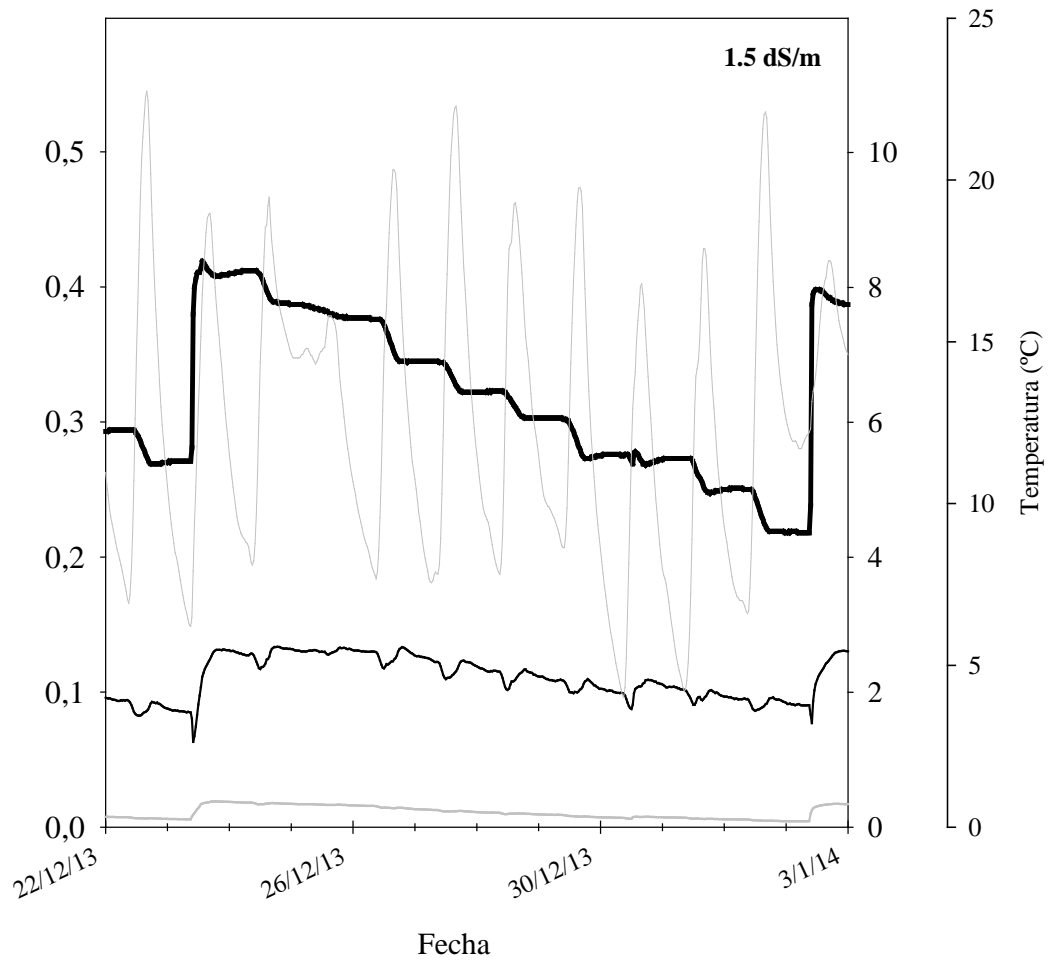


Figura 10 - Evolución de las medidas de CE y CVA del sustrato entre dos riegos consecutivos para macetas regadas con $1,5 \text{ dS m}^{-1}$

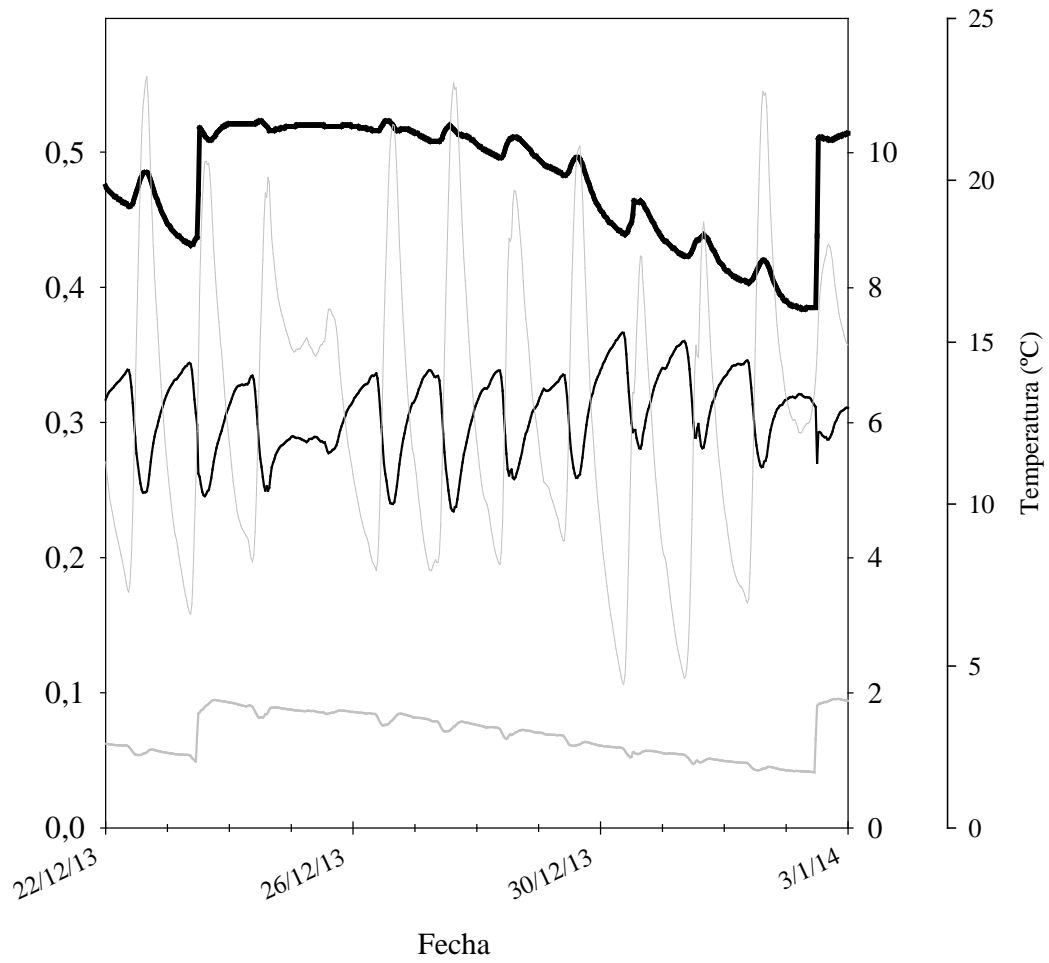


Figura 11 - Evolución de las medidas de CE y CVA del sustrato entre dos riegos consecutivos para macetas regadas con 5 dS m^{-1}



Foto 9.- Diferencia de crecimiento entre tratamientos (Tratamiento 1 al tratamiento 4)



Foto 10.- Diferencia de crecimiento entre tratamientos (Tratamiento 5 al tratamiento 8)



Fotos 11 y 12.-Detalle desarrollo del sistema radicular



Foto 13.- Detalle presencia de hojas basales con daños necróticos

2.5.-Referencias

- Abad, M., Noguera, P., Carrion, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. p.113-158. En: Tratado de cultivo sin suelo. Coord. M. Urrestarazu. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Alarcón, J.J., Bolarin, M.C., Sánchez-Blanco, M.J., Torrecillas, A. 1994. Growth, yield and water relations of normal fruited and cherry tomato cultivars irrigated with saline water. *J Hort. Sci.* 69(2): 383-388.
- Alarcon, J.J., Sanchez-Blanco, M.J., Bolarin, M.C., Torrecillas, A. 1993. Water relations and osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *L. pennelli* during short-term salt exposure and recovery. *Physiol. Plant.*, 89: 441-447.
- Álvarez, S., Gómez-Bellot, M.J., Castillo, M., Bañón, S., Sánchez-Blanco, M.J. 2012. Osmotic and saline effect on growth, water relations, and ion uptake and translocation in *Phlomis purpurea* plants. *Environmental and Experimental Botany*, 78: 138-145.
- Amente, G., Baker, J.M., Reece, C.F. 2000. Estimation of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity in sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1931-1939.
- Ashraf, M. 2004. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora*, 199: 361-376.
- 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.
- Bargmann, B. O., Laxalt, A. M., terRiet, B., van Schooten, B., Merquiol, E., Testerink, C., Munnik, T. 2009. Multiple PLDs required for high salinity and water deficit tolerance in plants. *Plant and Cell Physiology*, 50(1):78-89.

- Batanouny, K. H. 1996. Ecophysiology of halophytes and their traditional use in the arab world. In: Halophytes and Biosaline Agriculture. Edited by Choukr - Allah, R. Malcolm, C. V. and Hamdy, A. Marcel Dekker, New York, U.S.A. Pp. 73-94.
- Bayuelo-Jiménez, J.S., Debouck, G.D., Lynch, J.P. 2003. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. Field Crop Res. 80:207-222.
- Bougoul, S., Boulard, T. 2006. Water dynamics in two rockwool slab growing substrates of contrasting densities. Scientia Horticulturae. 107:399-404.
- Brian E. Whipker, Todd J. Cavins, William Fonteno C. 2001. 1, 2, 3's of PourThrough. Floriculture Website: www.ces.ncsu.edu/floriculture/ © 2001, North Carolina State University.
- Burnett, S.E., van Iersel, M.W., 2008. Morphology and irrigation efficiency of *Gauralindheimerigrown* with capacitance sensor-controlled irrigation. HortScience. 43:1555-1560.
- Cabrera, R.I. 2009. Revisiting the salt tolerance of crape myrtles (*Lagerstroemia* spp.). Arboric. Urban Fores. 35:129-134.
- Campbell, J.E. 2002. Salinity effects in capacitive soil moisture measurement. 12 p. In I.C. Paltineau (ed.) Transactions first international symposium on soil water measurement using capacitance and impedance, volume 1.
- Campbell, J.E. 1990. Dielectric properties and influence of conductivity in soils at one to fifty Megahertz. SoilSci. Soc. Am. J. 54:332-341.
- Cánovas, J., Cerdá, A. 1995. Efectos de la calidad del agua sobre la agricultura. Aguas residuales para riego. Agua y Futuro en la región de Murcia. Ed. Asamblea Nacional de Murcia. Murcia

- Cavins, T., Whipker, B., Fonteno, W. 2008. PourThrough: A method for monitoring nutrition in the greenhouse. *Acta Hort.* 779:289-297.
- Cavins, T.J., Whipker, B.E., Fonteno, W.C., Harden, B., McCall, I., Gibson, J.L. 2000. Monitoring and managing pH and EC using the PourThrough extraction method. *North Carolina State Univ. Coop. Ext. Serv. Bul.* 590.
- Chaves, M.M., Flexas, J., Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103(4): 551-560.
- Cramer, G.R., Epstein, E., Läuchli, A. 1991. Effect of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. II. Elemental analysis. *Physiol. Plant.* 81: 197-202.
- Cramer, G.R., Läuchli, A., Polito, V.S. 1985. Displacement of Ca^{2++} on the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress?. *Plant Physiol.* 79:207-211.
- Da Silva, F.F., Wallach, R., Polak, A., Chen, Y. 1998. Measuring water content of soil substitutes with time-domain reflectometry (TDR). *J. Amer. Hort. Sci.* 123(4):734-737.
- Decagon Devices. 2014.
http://manuals.decagon.com/Application%20Guides/Soil%20Electrical%20Conductivity_Web.pdf
- De Rijck, G., Schrevens, E., De Baerdemaker, J. 1998. Thermal conductivity sensing for on-line monitoring and control of the moisture content in rockwool slabs. *Scientia Horticulturae.* 74:307-312.
- Dirksen, C., Dasberg S. 1993. Improved calibration of time domain reflectometry for soil water content measurements. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 57:660-667.

- Downton, V.J.S., Grant, W.J.R., Robinson, S.P. 1985. Photosynthetic and stomatal responses of spinach leaves to salt stress. *PlantPhysiol.* 77: 85-88.
- Fernández, G.R. 1990. Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. *Terra* 8: 226-240.
- Flowers, T.J., Yeo, A.R. 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 75-91.
- Flowers, T., Troke, P.F., Yeo, A.R. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Ann. Rev. PlantPhysiol.* 28:89-121.
- Franco, J.A., Fernández J.A., Bañón, S., González, A. 1997. Relationship between the effects of salinity on seedling leaf area and fruit yield of six muskmelons cultivars. *HortScience.* 32(4): 642-644.
- Gibson, J.L., Whipker, B.E. 2003. Efficacy of Plant Growth Regulators on the Growth of Vigorous *Osteospermum* Cultivars. *HortTechnology.* 13(1): 132-135
- Giese, K., Tiemann, R. 1975. Determination of the complex permittivity from a thin sample time-domain reflectometry, improved analysis of the step response waveform. *Adv. Mol. Relax. Processes.* 7: 45-59.
- Gorham, J. 1996. Mechanisms of salt tolerance of halophytes. En *Halophytes and Biosalines Agriculture*, Choukr-Allah R, Malcolm CV, Hamdy A. (Eds.) Marcel Decker Inc. Nueva York, EEUU. pp 31-53.
- Grattan, S.R., Grieve, C.M. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae.* 78: 127-157.

- Grattan, S.R., Grieve, C.M., 1994. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessaraki, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. MarcelDekker, New York, pp. 203-226.
- Greenway, H., Munns, R., 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31: 149–190.
- Grieve, C., Wu, L., Rollins, L., Harivandi, A. 2008. Tolerance by landscape plants of salinity and of specific ions (Chapter V). In: A comprehensive literature review on salt management guide for landscape irrigation with recycled water in coastal southern California, Dec. 2009. <<http://www.salinitymanagement.org>>.
- Gupta, S.C., Hanks, R.J. 1972. Influence of water content on electrical conductivity of the soil. *Soil Science Society of America Proceedings*: 36: 855-857.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Pardo, J.M. 2000a. The dawn of plant salt to tolerance genetics. *Trends in Plant Sci.* 5:317-319.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.-K., Bohnert, H.J. 2000b. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:463-499.
- Hiatt, A.J., Evans, H.J. 1960. Influence of salts on activity of malic dehydrogenase from spinach leaves. *Plant Physiol.* 35:662-72.
- Hirholst, M.A. 2000. A pore water conductivity sensor. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1922-1925.
- Ho, L.C., Adams, P. 1994. Regulation of the partitioning of dry matter and calcium in cucumber in relation to fruit growth and salinity. *Annals of Botany.* 73: 539-545.
- Ho, L.C., Adams, P. 1994. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. *Hydroponics and Transplant Production* 396:33-44.

- Hoffman, G.J., Ayers,R.S., Doering,E.J., McNeal,B.L. 1980. Salinity in irrigated agriculture. In: Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, Michigan, Am SocAgricEng, pp 145–185.
- Hoffman, G. J., Jobes, J.A.1978. Growth and water relations of cereal crops as influenced by salinity and relative humidity. *Agronomy Journal*. 70(5): 765-769.
- Holden, N.M. 1997. The use of time domain reflectometry to measure water content in milled peat. *Ir. J. Agric. Food Res.* 36: 195–203.
- Hsiao T. C., Acevedo, E., Fereres, E., Henderson, D. W. 1976. Stress metabolism, water stress growth and osmotic adjustment. *Philosophical Transactions Royal Society of London, Series B.* 273: 479- 500.
- Incrocci, L., Marzialesi, P., Incrocci, G., Balendonck, J., Spagnol, S.,Pardossi, A. 2010.Application of WET Sensor for Management of Reclaimed Wastewater Irrigation in Container-Grown Ornamentals (*Prunuslaurocerasus* L.). Third International Symposium on Soil Water Measurement Using Capacitance, Impedance and TDT, Murcia, Spain, April, 7–9, 2010.
- Jeschke, W.D. 1984. K^+ - Na^+ exchange at cellular Membranes, intracellular.Compartamentation of Cations, and Salt Tolerance. In: *Salinity Tolerance in Plants*. Staples and Toenniesseneds. New York, 384 p.
- Joly, R.J., Zaerr, J.B. 1987.Alteration of cell –wall water content and elasticity in Douglas-fir during periods of water deficit.*Plant Physiol.* 83:418-422.
- Kargas, G., Kerkides, P. 2012. Comparison of two models in predicting pore water electrical conductivity in different porous media.*Geoderma*, 189: 563-573.

- Kargas, G., Kerkides, P. 2010. Evaluation of a Dielectric Sensor for Measurement of Soil-Water Electrical Conductivity. *J. Irrig. Drain. E.*, 136(8): 553-558.
- Kelleners, T.J., Seyfried, M.S., Blonquist, J.M., Bilskie, J., Chandler, D.G. 2005. Improved interpretation of water content reflectometer measurements in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1684-1690.
- Knight, R.J., Endres, A.L. 1990. A new concept in modeling the dielectric response of sandstones: Defining a wetted rock and bulk water system, *Geophysics.* 55: 586-594.
- Ku, C.S., Hershey, D.R. 1992. Leachate electrical conductivity and growth of potted geranium with leaching fractions of 0 to 0.4. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 893-897.
- Ku, C.S.M., Hershey, D.R. 1991. Leachate electrical conductivity and growth of potted poinsettia with leaching fractions of 0 to 0.4. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:802-806.
- Läuchli, A. 1984. Responses and adaptations of crops to salinity. In *Symposium on Tomato Production on Arid Land 190* (pp. 243-246).
- Läuchli, A., Epstein, E. 1984. Mechanism in salt tolerance in plants. *Cal. Agric.* 38: 18-19.
- Levitt, J. 1980. Response of plants to environmental stresses. *Water, Salt and other Stresses.* Vol I. pp 129 - 186. Academic Press, NY.
- Lunin, J., Gallatin, M. H., Batchelder, A. R. 1963. Saline irrigation of several vegetable crops at various growth stages. I. Effect on yields. *Agronomy Journal*, 55(2): 107-110.
- Malicki, M.A., Walczak, R.T. 1999. Evaluating soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity. *European Journal of Soil Science*, 50(3): 505-514.

- Malicki, M.A. 1993. Influence of soil physical properties on electrical parameters of electrodes/soil system in aspect of the determination of soil moisture and salinity (in Polish). *ActaAgrophysica*, 1, 108.
- Malicki, M.A., Campbell, E.C., Hanks, R.J. 1989. Investigations on power factor of the soil electrical impedance as related to moisture, salinity and bulk density. *Irrigation Science*. 10: 55-62.
- Malicki, M.A. 1978. Control of dynamics of soil moisture as based on soil electrophysical properties. Doctoral thesis, Academy of Agriculture, Lublin (in Polish).
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd Edn. Academic Press, London, 889 p.
- Meiri, A., Hoffman, G.J., Shannon, M.C., Poss, J.A. 1982. Salt tolerance of two muskmelon cultivars under two radiation levels. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:1168-1172.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. International Potash Institute, IPI, Bern, Switzerland. 685 p.
- Monge, O.A., Bugbee, B. 1992. Inherent limitations of nondestructive chlorophyllmeters: a comparison of two types of meters. *HortScience*. 27: 69-71.
- Mozafar, A., Oertli, J.J. 1992. "Uptake of a microbially-produced vitamin (B12) by soybean roots." *Plant and Soil*, vol. 139, pp. 23-30.
- 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., Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59:651–681.
- Munns, R., Schachtman, D.P., Condon, A.G. 1995. The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 22:561-569.
- Munns, R., Greenway, H., Delane, R., Gibbs, J. 1982. Ion concentration and carbohydrate status of elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl; II Cause of the growth reductions. *J. Exptl. Bot.* 33: 574-583.
- Muñoz-Carpena, R., Ritter, A., Bosch, D.D. 2005a. Field methods for monitoring soil water status. In: Alvarez-Benedi, J., Muñoz-Carpena, R. (Eds.), *Soil-Water-Solute Process Characterization*. CRC Press LLC, Boca Raton, pp. 167–195.
- Muñoz-Carpena, R., Regalado, C.M., Ritter, A., Alvarez-Benedi, J., Socorro, A.R. 2005b. TDR estimation of electrical conductivity and saline solute concentration in a volcanic soil. *Geoderma* 124, 399–413.
- Muro, J., Irigoyen, I., Samitier, P., Mazuela, P., Salas, M.C., Urrestarazu, M. 2005. Wood fiber as growing medium in hydroponic crop. *Acta Horticulturae* 697:179-185.
- Nadler, A. 2004. Relations between soil and tree stem water content and bulk electrical conductivity under salinizing irrigation. *Soil Science Society of America Journal*. 68(3): 779-783.
- Nadler, A., Frenkel, H., 1980. Determination of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity measurements by the four-electrode method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1216–1221.
- Nemali, K.S., van Iersel, M.W. 2006. An automated system for controlling drought stress and irrigation in potted plants. *Scientia Horticulturae* 110:292-297.

- Neumann, P.M. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell Environ.* 20: 1193-1198.
- Nieman.R.H. 1965.Expansion of bean leavesand its suppression by salinity.*Plant Physiology.* 40: 156-161.
- Niu, G., Cabrera, RI. 2010. Growth and physiological responses of landscape plants tosaline water irrigation – a review. *HortScience.* 45(11): 605-1609.
- Niu, G., Rodriguez,D.S., Aguiniga,L. 2007a. Growth and landscape performance of ten herbaceous species in response to saline water irrigation. *J. Env. Hort.* 25:204-210.
- Noble.C.L. 1983.The potential for breeding salt-tolerant plants. *Proc. Royal Soc. Victoria,* 95(3): 133-138.
- Olhoeft, G.R. 1989. Electrical properties of rocks, in *Physical properties of rocks and minerals*, vol. II-2. Y.S. Touloukian, W.R. Judd, R.F. Roy, ed. New York: Hemisphere Pub. Corp.
- Olmos, E., Hellin, E. 1996. Mechanism of salt tolerance in a cell line of *Pisumsativum*: biochemical and physiological aspects. *Plant Science* 120: 37-45.
- Or, D., Wraith,J.M. 1999. Temperature effects on soil bulk dielectric permittivity measured by time domain reflectometry: A physical model, *Water Resour. Res.* 35: 371–383.
- Oron, G., DeMalach, Y., Gillerman, L., David, I., Lurie, S. 2002. Effect of water salinity and Irrigation Technology on yield and Quality of pears.*Biosyst.Engin.*81: 237 -247.

- Papadopoulos, I., Rendig, V. V. 1983. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. *Plant and Soil*, 73(1): 47-57.
- Paquet, J.M., Caron, J., Banton, O. 1993. In-situ determination of the water desorption characteristics of peat substrates. *Canadian J. Soil Sci.* 73: 329–339.
- Parida, A.K., Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60: 324-349.
- Pasternak, D., Nerd, A. 1995. Research and utilization of halophytes in Israel. *Halophytes and biosaline agriculture*. 325-348.
- Pepin, S., Plamondon, A., Stein, J., 1992. Peat water content measurement using time domain reflectometry. *Can. J. For. Res.* 22: 534–540.
- Peynado, A., Sluis, N.J. 1979. Chloride and boron tolerance of young "Ruby Red" grapefruit trees affected by rootstock and irrigation method. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104(1): 133-136.
- Rains, D.W., Crougham, T.P., Stavarek, S.J. 1980. Selection of salt tolerant plants using tissue culture. En: *Genetic Engineering of Osmoregulation* (Eds. D.W. Rains, R.C., Valentine y A. Hollaender). Plenum Press. Nueva York. Pags. 279-292.
- Rhoades, J.D., Manteghi, N.A., Shouse, P.J., Alves, W.J. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibrations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 433–439.
- Rhoades, J.D. 1976. Measuring, mapping, and monitoring field salinity and water table depths with soil resistance measurements. *FAO Soils Bull.* 31: 159–186.

- Ritter, A., Regalado, C.M. 2007. Eficacia de un sensor de capacitancia para medir simultáneamente salinidad y contenido hídrico. En: J.V. Giráldez Cervera y F.J. Jiménez Hornero, 2007 pp 145-151. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VIII, Instituto Canario Inv. Agrarias (ICIA).
- Robinson, D.A., Gardner, C.M.K., Cooper, J.D. 1999. Measurement of relative permittivity in sandy soils using TDR, capacitance and theta probes: Comparison, including the effects of bulk soil electrical conductivity. *J. Hydrol. (Amst.)* 223:198–211.
- Rosenbaum, M., Aulenta, F., Villano, M., Angenent, L. 2011. Cathodes as electron donors for microbial metabolism: Which extracellular electron transfer mechanisms are involved? *Bioresource Technology*: 102 (1): 224-233.
- Roth, C.H., Malicki, M.A., Plagge, R. 1992. Empirical evaluation of the relationship between soil dielectric constant and volumetric water content as the basis for calibrating soil moisture measurements by TDR. *J. Soil Sci.* 43:1-13.
- Salas, M.C., Cortes, L., Montero, J.L. 2008. Dinámica del contenido en humedad en función del tipo de contenedor utilizando fibra de coco como sustrato en un cultivo de tomate. p. 50-55. *Actas de Horticultura 53, IX Jornadas de Sustratos de la SECH, Pamplona, Septiembre, 2008.*
- Sánchez-Blanco, M. J., Ferrández, T., Morales, M. A., Morte, A., Alarcón, J. J. (2004a). Variation in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. *Journal of Plant Physiology*, 161: 675-682.
- Sánchez-Blanco, M. J., Ferrández, T., Navarro, A., Bañón, S., Alarcón, J. J. (2004b). Effects of irrigation and air humidity preconditioning on water relations, growth and survival of *Rosmarinus officinalis* plants during and after transplanting. *Journal of Plant Physiology*, 161: 1133-1142.

- Sen, P.N. 1981. Relation of certain geometrical features to the dielectric anomaly of rocks, *Geophysics*. 46: 1714-1720.
- Senadheera, P., Singh, R. K.,Maathuis, F. J. 2009. Differentially expressed membrane transporters in rice roots may contribute to cultivar dependent salt tolerance. *Journal of experimental botany*, 60(9): 2553-2563.
- Seyfried, M.S.,Murdock,M.D. 2004. Measurement of soil water content with a 50- MHz soil dielectric sensor. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:394–403.
- Shannon, M. C., Grieve, C. M.,Francois, L. E. 1994. Whole-plant response to salinity. In “Plant-Environment Interactions” (R. E. Wilkinson, Ed.), pp. 199-244. Dekker, New York.
- Shibchurn, A., Van Geel, P.J., Kennedy, P.L. 2005.Impact of density on the hydraulic properties of peat and the time domain reflectometry (TDR) moisture calibration curve. *Canadian Geotechnical Journal* 42: 279-286.
- Skaggs, R.W., Mohamed,M.A., Chescheir,G.M. 2006. Drainage design coefficients for eastern United States.*Agricultural Water Management*. 86: 40-49.
- Slama, F. 1986. Intervention des racines dans la sensibilité ou la tolerance à NaCl de plantes cultivées. *Agronomie*.6:651-658.
- Song, J. Q., Fujiyama, H. 1998. Importance of Na content and water status for growth in Na-salinized rice and tomato plants. *Soil science and plant nutrition*, 44(2): 197-208.
- Tanji, K. K., Grattan, S. R. 2007. Salt management guide for landscape irrigation with recycled water in coastal southern California: A comprehensive literature review.

- Tanji, K.K. 2002. Salinity in the soil environment. In: Lauchli, A. and Lutge, U., (Eds.) Salinity: environment-plants-molecules. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp: 21-51.
- Tanji, K.K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. En: Agricultural Salinity Assessment and Management. Tanji, K.K. (ed.) American Society of Civil Engineers, New York, Manual and Report Engineering Practice. 71-92.
- Topp, G.C., Davis, J.L. 1985. Time-domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. In: Hillel, D. (Ed.), Advances in Irrigation, Vol. 3. Academic Press, London, pp. 107-127.
- Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P., 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. Water Resour. Res. 16: 574-582.
- Torres, A.P., Mickelbart, M.V., Lopez, R.G. 2010. Leachate Volume Effects on pH and Electrical Conductivity Measurements in Containers Obtained Using the Pourthrough Method. HortTechnology. 20 (3): 608-611.
- Treder, J., Nowak, J. 2001. The effect of irrigation frequency on growth, flowering and stomatal conductance of osteospermum 'Denebola' and New Guinea impatiens 'Timor' grown on ebb and-flow benches. Acta Agrobotanica, 54(2): 59-68.
- Turner, N.C., Jones, M.M. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. In: Adaptation of plants to water and high temperature stress, (Eds.): N.C. Turner and P.J. Kramer. pp. 84-104.
- Valdés, R., Miralles, J., Ochoa, J., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón, S. 2014. The number of emitters alters salt distribution and root growth in potted gerbera. HortScience. 49(2): 160-165.

- Valdés, R., Miralles, J., Franco, J.A., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón, S. 2014. Using soil bulk electrical conductivity to manage saline irrigation in the production of potted poinsettia. *Scientia Horticulturae*. 170: 1-7.
- Valdés, R., Miralles, J., Franco, J.A., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón, S. 2013. Evaluación de la salinidad del sustrato usando la conductividad eléctrica del medio en la producción de hortensia en maceta. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas, Del 26 al 29 de agosto 2013.
- Valdés, R., Miralles, J., Ochoa, J., Franco, J.A., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón, S. 2012. 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. 2012. 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.
- Valdez-Aguilar, L., Grieve, C. and Poss, J. 2009. Salinity and alkaline pH in irrigation water affect marigold plants: I. Growth and shoot dry weight partitioning. *HortScience*. 44(6):1719-1725.
- Van Der Laan, M., Stirzaker, R.J., Annandale, J.G., Bristow, K.L., Du Preez, C.C. 2011. Interpretation of electrical conductivity measurements from ceramic suction cups, wetting front detectors and ECH20-TE sensors. *South African Journal of Plant and Soil*. 28(4): 244-247.
- Van Loon, W.K.P., Perfect, E., Groenevelt, P.H., Kay, B.D. 1991. Application of dispersion theory to time domain reflectometry in soils. *Transport in Porous Media*, 6: 391-406.

- Weitz, A.M., Grauel,W.T., Keller,M.,Veldkamp,E. 1997. Calibration of time domain reflectometry technique using undisturbed soil samples from humid tropical soils of volcanic origin. *Water Resour. Res.* 33:1241-1249.
- West, D.W., Taylor, J.A. 1984. Response of six grape cultivars to the combined effects of high salinity and rootzone waterlogging. *Journal of the American Society of Horticultural Science.* 109: 844-851.
- Willadino, L., Cámara, T. 2005. Aspectos fisiológicos do estresse salino em plantas. En Custodio R, Araújo E, Gómez L yCavalcante U (Eds.) *Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas.* MXM Gráfica e editora. Recife, Brasil. pp. 127-137.
- Zeng, L., Lesch,S.M., Grieve,C.M. 2003a. Rice growth and yield respond to changes in water depth and salinity stress. *Agricultural Water Management.*59:67-75.
- Zeng, L., Poss, J.A.,Wilson, C.,Draz,A.E., Gregorio,G.B., Grieve,C.M. 2003b. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by physiological characters. *Euphytica.* 129:281-292.