

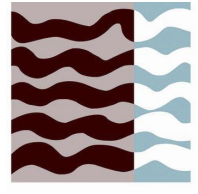


Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



UPCT

Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería Agronómica



ETSIA

*Grado en Ingeniería Agroalimentaria  
y de Sistemas Biológicos*

Cuantificación de índices de salinidad usando  
sensores de CE y humedad de suelo en un cultivo  
en maceta de Euphorbia

**Autora:** Dña. Carmen Pascual Espinosa

**Dirección:** D. Sebastián del Pilar Bañón Arias

**Codirección:** D. Daniel Bañón Gómez

Cartagena, marzo de 2022

# ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. OBJETIVOS.....	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
3.1. Condiciones experimentales, material vegetal y tratamientos .....	6
3.2. Programa de riego .....	8
3.3. Índices de salinidad.....	10
3.4. Medidas directas .....	11
3.4.1. Lixiviado.....	11
3.4.2. Parámetros de crecimiento y desarrollo.....	11
3.4.3. Temperatura foliar y parámetros de intercambio de gaseoso .....	12
3.4.4. Relaciones hídricas .....	13
3.4.5. Fluorescencia clorofílica.....	13
3.4.6. Área foliar.....	14
3.4.7. Densidad estomática .....	14
3.4.8. Clorofila foliar .....	15
3.4.9. Nutrientes e iones salinos en la planta.....	15
3.5. Análisis estadístico .....	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1. Parámetros de riego y consumo de agua.....	17
4.2. Crecimiento, desarrollo y eficiencia del uso de agua .....	18
4.3. Distribución de nutrientes e iones salinos en la planta .....	20
4.4. Termografía foliar y parámetros fotosintéticos.....	23
4.5. Relaciones hídricas en la planta.....	24
4.6. Fluorescencia clorofílica.....	27
4.7. Índices de salinidad.....	28
5. ESTUDIO ECONÓMICO.....	31
6. CONCLUSIONES .....	33

7. BIBLIOGRAFÍA..... 34

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Composición química de las soluciones de fertirrigación (agua + fertilizante) para cada uno de los tratamientos: control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m).

9

**Tabla 2.** Parámetros de riego al final del experimento para tratamientos de control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m). Contenido volumétrico de agua (CVA)\*.... 17

**Tabla 3.** Parámetros de crecimiento y desarrollo de Euphorbia A.R. al final del experimento, y eficiencia en el uso del agua (EUA). Control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m)..... 20

**Tabla 4.** Concentración de nutrientes e iones salinos en hoja, tallo y raíz de Euphorbia A.R. para control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m)..... 25

**Tabla 5.** Análisis de regresión entre el agua de riego CE (CEiw) y los índices de salinidad. ISai, índice de salinidad basado en CEb justo después del riego (CEbai). ISbi, índice de salinidad basado en CEb justo antes del riego (CEbbi). ISavg, índice de salinidad basado en CEb promediado entre dos eventos de riego sucesivos (CEbavg)..... 29

**Tabla 6.** Coste anual de plantación de Euphorbia A.R. bajo 3 supuestos manejos de riego.

31

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Temperaturas y de déficit de presión máximos, medios y mínimos.....	8
<b>Figura 2.</b> Ejemplo de la evolución de la CEB y del CVA durante dos ciclos de riego.	10
<b>Figura 3.</b> Tasa de intercambio de gases y transporte de electrones (ETR). Fotosíntesis neta al mediodía ( $P_n$ , A), conductancia estomática al mediodía (gs, B), eficiencia del uso del agua intrínseca (EUAi, C), temperatura foliar (D). .....	24
<b>Figura 4.</b> Relaciones hídricas en planta. Contenido relativo de agua en hojas (CRA, A) y potencial osmótico en turgencia total ( $\Psi_s$ , B). .....	26
<b>Figura 5.</b> Parámetros de fluorescencia.....	28
<b>Figura 6.</b> Pendientes de la CEB: CEbai, CEbbi y CEbavg. ....	30

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1.</b> Estación Experimental Agroalimentaria “Tomás Ferro” (Google Earth, 2022).....	6
<b>Fotografía 2.</b> Plántula de Euphorbia A.R. ....	6
<b>Fotografía 3.</b> Distribución en invernadero de Euphorbia A.R. ....	7
<b>Fotografía 4.</b> Sistema de recolección de drenaje (Pascual C., 2021). ....	11
<b>Fotografía 5.</b> Toma de fotografías con cámara térmica. ....	12
<b>Fotografía 6.</b> Medida de fluorescencia clorofílica. ....	13
<b>Fotografía 7.</b> Conteo del número de estomas. ....	14
<b>Fotografía 8.</b> Proceso de preparación de hojas, tallos y raíces para secado. ....	15
<b>Fotografía 9.</b> Reducción del tamaño de la planta por el efecto de la salinidad. ....	18

## RESUMEN

La disponibilidad de agua de calidad para riego en la producción viverística cada vez es más limitada y la búsqueda de fuentes alternativas, como las aguas marginales, se hace más necesaria. El principal inconveniente que presentan es la elevada salinidad, un factor limitante para la mayoría de los cultivos. Conocer que métodos de riego y que plantas que se adaptan bien a estas condiciones resulta fundamental, ya que determinará su atractivo ornamental y viabilidad en el largo plazo. El empleo de índices de salinidad eficientes basados en la sensorización del cultivo es muy útil para aprovechar todo su potencial. Se ha realizado un ensayo en invernadero para evaluar los efectos del riego salino a distintos niveles de conductividad eléctrica (CE): control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m) sobre el crecimiento y la fisiología de *Euphorbia x martinii* Ascot Rainbow (*Euphorbia* A.R.) en maceta. Los índices de salinidad se han establecido basándose en la CE del medio (CEb), medida directamente por el sensor GS3- METER Group. El índice que mostró mayor sensibilidad para detectar cambios de salinidad fue el calculado como el promedio de la ECb medida a máxima humedad (justo tras el riego), al que se estableció un valor umbral de salinidad de 1,5 dS/m para la producción comercial de *Euphorbia* A.R. en maceta. Las plantas bajo el tratamiento CE3 mostraron una reducción en el crecimiento, pero su comportamiento fisiológico y fotoquímico fue conveniente y su calidad ornamental no se vio comprometida. Por el contrario, las plantas de CE5 sufrieron una fuerte disminución de su peso seco y tamaño. Además, presentaron importantes daños foliares por la acumulación de sodio y cloruro, lo que condujo al colapso fotoquímico al final del periodo experimental.

## ABSTRACT

The availability of quality water for irrigation in nursery garden production is increasingly limited and the search for alternative sources, such as marginal waters, becomes more necessary. The main drawback they present is the high salinity, a limiting factor for most crops. Knowing which irrigation methods and which plants adapt well to these conditions is essential, since it will determine their ornamental attractiveness and viability in the long term. The use of efficient salinity indices based on the sensorization of the crop is very useful to take advantage of its full potential. A greenhouse test has been carried out to evaluate the effects of saline irrigation at different levels of electrical conductivity (EC): control (1,8 dS/m), EC3 (3,3 dS/m) and EC5 (4,9 dS/m) on the growth and physiology of *Euphorbia x martinii* Ascot Rainbow (*Euphorbia* A.R.) in pot. The salinity indices have been established based on the EC of the medium (ECb), measured directly by the GS3-METER Group sensor. The index that showed the highest sensitivity to detect salinity changes was calculated as the average of the ECb measured at maximum humidity (just after irrigation), at which a salinity threshold value of 1,5 dS/m was established for the commercial production of *Euphorbia* A.R. in pot. The plants under the EC3 treatment showed a reduction in growth, but their physiological and photochemical behavior was convenient, and their ornamental quality was not compromised. In contrast, EC5 plants suffered a sharp reduction in their dry weight and size. In addition, significant leaf damage was suffered by the accumulation of sodium and chloride, which led to photochemical collapse at the end of the experimental period.



## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente escasez de recursos hídricos a nivel mundial ha generado un descenso gradual de la disponibilidad de agua de calidad para riego en agricultura (Yeary et al., 2015), lo que ha hecho necesario realizar un uso más sostenible de la misma. La implementación de estrategias viables en este ámbito se centra en el aprovechamiento de todas las fuentes de agua disponibles para el riego sin que se den pérdidas económicas, especialmente de aguas marginales que son menos demandadas en otros sectores productivos. Uno de los inconvenientes que puede presentar el empleo de estas aguas es la elevada salinidad, que influye negativamente sobre el rendimiento de los cultivos (Master et al., 2007).

Entre los efectos que se dan en plantas ornamentales por la elevada salinidad destacan la aparición de daños en hojas y flores, la reducción del vigor y cambios de la arquitectura vegetal, aspectos fundamentales en la producción viverística que conducen a una pérdida económica considerable por la falta de calidad visual (Cassaniti et al., 2009; Bañón et al., 2011). A nivel fisiológico, la acumulación excesiva de iones salinos, principalmente  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , puede inhibir la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  en los cloroplastos (Munns, 2002) alterando la fotosíntesis y ocasionando clorosis foliares que pueden evolucionar a necrosis e incluso a la defoliación (Niu et al., 2010). Además, la toxicidad iónica también influye sobre el intercambio gaseoso, afectando a procesos como el metabolismo del ciclo de Calvin y la concentración foliar de pigmentos fotosintéticos. Otra amenaza es la caída del potencial osmótico, que dificulta la disponibilidad hídrica para la planta. Cuando la capacidad para absorber agua se reduce por las sales, las plantas disminuyen la transpiración y la demanda hídrica para frenar la absorción y traslocación de iones tóxicos hacia la parte aérea (Munns and Tester 2008; Cassaniti et al. 2009), sin embargo, la temperatura de la hoja aumenta (Kümmerlen et al., 1999).

La elección de cultivos resistentes a altas concentraciones salinas y su buen manejo aumentaría el potencial uso de las aguas marginales en el riego (Alvarez et al., 2019; Gómez-Bellot et al., 2021). A pesar del amplio número de especies ornamentales disponibles, muchas de ellas no tienen definidos grados de tolerancia o mecanismos fisiológicos de protección frente al estrés salino. Además, apenas se ha estudiado el empleo de índices de salinidad adaptados a los sistemas de regadío de precisión actuales, por lo que hay un gran potencial para la gestión eficiente del riego salino (Bañón et al., 2021).

La técnica más habitual para evitar la acumulación de sales en la zona radicular es la lixiviación, que permite desplazarlas por debajo (Thompson et al., 2013). El principal

inconveniente de este método es que la generación de lixiviado puede producir graves problemas ambientales y económicos por los vertidos incontrolados de agua contaminada (Katerji et al., 2004). Conocer en tiempo real la cantidad de sal presente en el medio de cultivo es de suma importancia para decidir la fracción de lavado óptima e impedir un drenaje excesivo (Incrocci et al. 2019). Además, posibilita el empleo de estas aguas en especies con menor tolerancia al estrés salino (Oron et al., 2002).

Para efectuar un manejo de riego preciso es conveniente disponer de índices de salinidad eficientes basados en valores umbrales a partir de los cuales las plantas presenten daños. Para su logro es necesario conocer la respuesta agronómica y fisiológica al estrés salino. El empleo de sensores de sustrato que miden humedad y conductividad eléctrica (CE) permiten monitorizar la salinidad (Gallardo et al., 2013; Incrocci et al., 2020). En este sentido, la monitorización de la CE del medio (CEb) puede enmascarar las condiciones reales de salinidad al reflejar la CE del conjunto agua, sustrato y aire (Amente et al., 2000), a pesar de estar fuertemente influenciado por la humedad. En otras especies ornamentales de poinsetia y *osteospermum* en maceta, la CEb medida justo después del riego ha sido un indicador eficaz para monitorizar la salinidad (Valdés et al., 2014; Valdés et al., 2015).

El presente trabajo se centra en el estudio de *Euphorbia x martinii* Ascot Rainbow (Euphorbia A.R.), un híbrido natural cuyo origen radica en Australia. Perteneciente a la familia Euphorbiaceae, se trata de un arbusto perenne de crecimiento vertical con un follaje abigarrado donde predomina un color verde grisáceo acompañado de manchas de coloración verdosa más oscura (Culp, 2012). Sus hojas están dispuestas helicoidalmente y presentan discretas vellosidades tanto en el haz como el envés. Su inflorescencia en ciatio es única en esta familia y sus pequeñas flores, rodeadas por brácteas variegadas con predominancia de tonos rojizos abren entre marzo y julio (Houtman, 2001). Estas características, junto con su crecimiento compacto y redondeado, le otorgan un gran potencial como planta ornamental. Adicionalmente, se ha sugerido que Euphorbia A.R. se adapta muy bien al clima mediterráneo (Ruth de Jauregui, 2011), incluso se ha considerado una variedad resistente a la contaminación y tolerante con la sequía (Andrews, 2022). Sin embargo, estas opiniones suelen estar basadas en información empírica, existiendo una considerable ausencia de estudios científicos sobre la tolerancia a la salinidad o la respuesta morfológica, fisiológica y bioquímica al estrés salino.

## **2. OBJETIVOS**

En el presente trabajo se han planteado los siguientes objetivos:

- 1) Evaluar tres índices de salinidad basados en la CEB medida con el sensor GS3, con la pretensión de valorar si pueden ser usados para conocer el nivel salino del sustrato en la producción viverística de plantas en maceta.
- 2) Determinar los efectos del riego salino sobre la calidad fisiológica y ornamental.
- 3) Definir que valores umbrales de los índices de salinidad permiten la producción comercial de *Euphorbia A.R.*

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Condiciones experimentales, material vegetal y tratamientos

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agroalimentaria “Tomás Ferro”, situada en el término municipal de Cartagena (37° 41′ N, 0° 57′ W). Para el estudio se empleó un invernadero de policarbonato de 120 m<sup>2</sup> de superficie, distribuidos en 15 m de largo y 8 m de ancho, con una cubierta semicircular que dispone de ventilación cenital con altura a la canal de 3,5 m y al cénit de 5,5 m (Fotografía 1).



**Fotografía 1.** Estación Experimental Agroalimentaria “Tomás Ferro” (Google Earth, 2022).

Se utilizaron plántulas de *Euphorbia x martinii* Ascot Rainbow con un tamaño de 10 cm de altura suministradas por un vivero local. Se seleccionaron las más homogéneas y se trasplantaron en macetas de plástico de 17 cm de diámetro y 15 cm de profundidad en la primera semana de noviembre de 2020 (Fotografía 2). Se empleó un sustrato comercial compuesto de turba, fibra de coco y perlita en proporción (67/30/3, v/v/v) (Fertiberia S.A., Madrid, España). Las características de retención de humedad de la mezcla fueron: 63,2% de capacidad total de retención de agua, 28,1% de agua fácilmente disponible y 5,8% de agua de reserva (de Boodt et al., 1974).



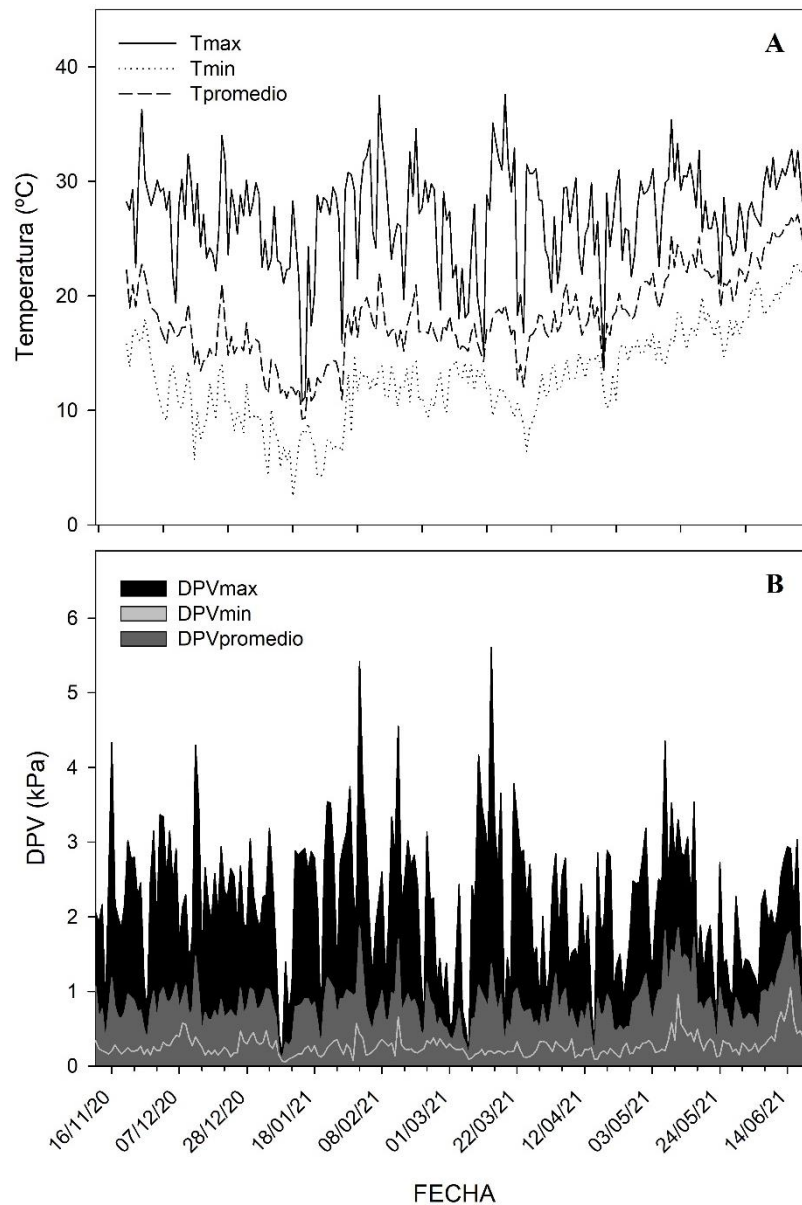
**Fotografía 2.** Plántula de Euphorbia A.R.

El invernadero se adaptó en base a los tres tratamientos de riego con agua salina a distintos niveles de conductividad eléctrica (CE): control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m). Se aplicaron durante 5 meses comprendidos entre las segundas semanas de enero y de junio de 2021 respectivamente. Para cada uno de ellos se destinó un tanque de 1000 L y una fila de banquetas de cultivo a 80 cm sobre el suelo, donde se distribuyeron aleatoriamente 30 macetas en dos filas. (Fotografía 3). Posteriormente, se insertaron dos emisores autocompensantes y antidrenantes con un caudal de 4 L/h por planta (Netafim Ltd., Israel) conectados a cada tanque a través de una tubería de 50 cm x 4 mm.



**Fotografía 3.** Distribución en invernadero de Euphorbia A.R.

Las condiciones de temperatura y de humedad relativa ambiental se registraron cada 60 minutos con un datalogger LOG 32 TH (Dostmann electronic GmbH. Wertheim-Reicholzheim, Alemania). Además, se calcularon los datos relativos al déficit de presión de vapor (DPV) mediante la ecuación de Snyder et al. (1986). Los datos diarios de temperatura y de déficit de presión máximos, medios y mínimos se muestran en la Figura 1.



**Figura 1.** Temperaturas y de déficit de presión máximos, medios y mínimos.

### 3.2. Programa de riego

El riego se programó a través del software Loggernet 3 (Campbell Scientific Inc.), en el que se determinó que para valores de contenido volumétrico de agua (CVA) por debajo del 35% al medio día, se efectuaría un riego de 20 minutos (Figura 2).

Para ello, se insertaron 3 sensores GS3 (METER Group, Inc. USA) por tratamiento en el sustrato de macetas aleatorias que medirían los parámetros de humedad, temperatura y CE del mismo. Estos se registraron cada hora por medio de un datalogger CR1000 (Campbell Scientific, Ltd, Logan, UT) que en el momento de riego emitía una señal a un multiplicador de

puerto multicontrol SMD-CD16D (Campbell Scientific, Ltd, Logan, UT) para abrir y cerrar el flujo de agua a través de tres válvulas solenoides instaladas en los tanques.

El CVA se obtuvo a partir de una calibración propia para nuestro sustrato ( $CVA = -0,047 * \text{permitividad}^2 + 3,154 * \text{permitividad} + 7,740$ ;  $R^2 = 0,92$ ) determinada mediante la metodología confeccionada por Valdés et al. (2012).

Para la solución nutritiva final se adicionó un fertilizante complejo comercial (Vegetator, Murcia, España) con un equilibrio nutritivo N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O - CaO - MgO de 4 - 1,7 - 4,5 - 4,5 - 4,5 - 4 - 1,4 que incrementó el valor de de la CE en 0,5 dS/m (Tabla 1). Se agregó sal (NaCl) hasta alcanzar el nivel de CE deseado en cada tratamiento y se adicionó ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) para ajustar el pH de las tres soluciones a 6,7.

**Tabla1.** Composición química de las soluciones de fertirrigación (agua + fertilizante) para cada uno de los tratamientos: control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m).

Parámetros	Tratamientos		
	Control	CE3	CE5
pH	7,68	7,79	7,80
CE (dS/m)	1,82	3,32	4,86
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	280,23	272,45	240,93
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	1,89	1,72	1,81
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	17,09	15,60	14,23
K <sup>+</sup> (mg/L)	56,06	55,13	59,26
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	125,72	117,93	116,50
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	57,18	53,90	53,37
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	258,99	258,72	258,17
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	245,28	650,55	1220,95
Na <sup>+</sup> (mg/L)	161,37	444,00	781,57
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	105,11	111,23	108,99
B (mg/L)	0,61	0,55	0,52
Mn <sup>2+</sup> (mg/L)	0,45	0,43	0,41
Fe <sup>3+</sup> (mg/L)	0,07	0,05	0,06
Zn <sup>2+</sup> (mg/L)	0,07	0,05	0,05
Cu <sup>2+</sup> (mg/L)	0,09	0,08	0,08

Al final del ensayo se estimó el agua total aplicada teniendo en cuenta el caudal de emisión de los goteros por maceta y el tiempo de riego final. También se obtuvo el consumo de agua como la diferencia entre el agua total aplicada y el lixiviado, y la eficiencia en el uso del agua (EUA) como la relación entre el peso seco total de la planta producido entre el comienzo y el final y el agua aplicada durante ese período.

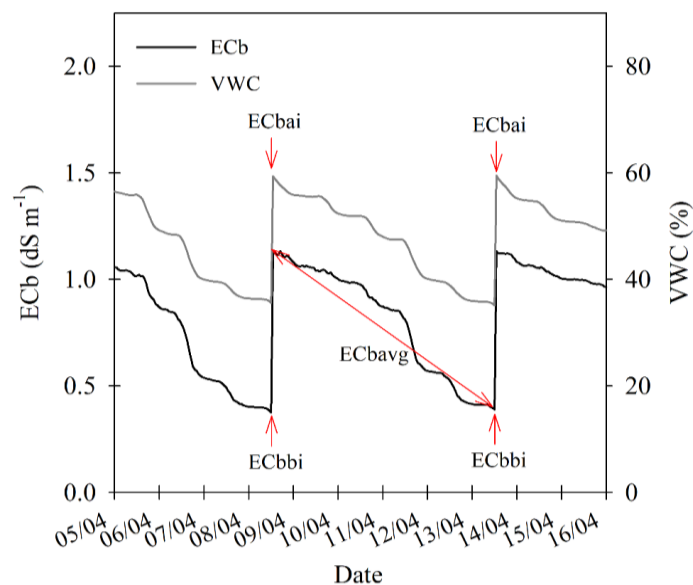
### 3.3. Índices de salinidad

La conductividad eléctrica del medio (CEb) se midió en tres momentos diferentes para evitar posibles alteraciones por la influencia de la humedad (Figura 2):

- 1) Justo después del riego (CEbai) coincidiendo con el máximo contenido de humedad.
- 2) Justo antes del riego (CEbbi) coincidiendo con el mínimo contenido de humedad.
- 3) Entre dos eventos de riego sucesivos (CEbavg), considerando todos los niveles de humedad del sustrato.

A partir del promedio de todas las mediciones, se elaboró un índice de salinidad (IS) para cada uno de los momentos mencionados anteriormente: justo después del riego (ISai), justo antes del riego (ISbi) y entre dos eventos de riego sucesivos (ISavg)

Además, se estudió la correlación entre la CEb (CEbai, CEbbi y CEbavg) y el tiempo de cultivo (TC) para conocer la tendencia evolutiva y asociación entre las dos variables. También se realizó un estudio de relación lineal entre los tres IS (ISai, ISbi y ISavg) y la CE del agua de riego (CEiw) para entender cómo el cambio del IS puede variar la salinidad del sustrato, influenciada por la CEiw.



**Figura 2.** Ejemplo de la evolución de la CEb y del CVA durante dos ciclos de riego.



### 3.4. Medidas directas

#### 3.4.1. Lixiviado

El lixiviado se cuantificó semanalmente en tres plantas por tratamiento, recolectándolo con ayuda de un embudo y una botella de plástico (Fotografía 4). Adicionalmente, se midieron el pH y la CE con la ayuda de los medidores portátiles HI 98107 y DiST®4 respectivamente (HANNA instruments, Bogotá, Colombia).



Fotografía 4. Sistema de recolección de drenaje (Pascual C., 2021).

#### 3.4.2. Parámetros de crecimiento y desarrollo

Durante el ensayo, se estimó cada dos semanas el índice de crecimiento en seis plantas por tratamiento según lo sugerido por Hagen et al. (2014) a partir de la ecuación 1.

$$\text{Índice de crecimiento} = \frac{\text{Ancho planta 1} + \text{Ancho planta 2} + \text{Altura planta}}{3} \quad (\text{Ecuación 1})$$

La metodología empleada consistía en medir la parte más ancha de la planta y la perpendicular a esta, asignándoles los parámetros “ancho planta 1” y “ancho planta 2”. Para la altura se midió desde la superficie del sustrato hasta el brote más alto, asignándole “altura planta”.

Una vez finalizado el periodo experimental, se contabilizó el número de tallos con inflorescencias por planta y se calculó el porcentaje de hojas dañadas y caídas.

### 3.4.3. Temperatura foliar y parámetros de intercambio de gaseoso

La temperatura foliar y los parámetros de intercambio gaseoso, tasa fotosintética neta ( $P_n$ ) y de la conductancia estomática ( $g_s$ ), se midieron en las seis plantas más representativas de cada tratamiento. Las mediciones se realizaron al mediodía en tres días diferentes durante las últimas cinco semanas del ensayo, cuando las plantas soportaban un estrés salino acumulado de cinco meses.

La temperatura foliar se determinó con una cámara térmica FLIR (Mod. E50, ThermaCam System, Inc., Danderyd, Suecia) (Fotografía 5). Se tomaron cuatro imágenes térmicas en seis plantas por tratamiento de modo que en cada uno se obtuvieron 24 mediciones.



**Fotografía 5.** Toma de fotografías con cámara térmica.

Al comienzo de cada serie se consideraron la temperatura de fondo, la distancia de la cámara al dosel, la temperatura del aire y la humedad relativa para compensar los efectos de la transmisión infrarroja atmosférica, y la emisividad para las hojas se estableció en 0,96 (Leinonen et al., 2006). Las fotografías se procesaron con el software ThermaCam Researcher Professional 2.10 (FLIR Quick Report, Danderyd, Suecia).

Para medir  $P_n$  y  $g_s$ , se utilizó un medidor de intercambio de gases portátil, LICOR LI 46400 (LICOR Inc., Lincoln, NE, USA) siguiendo el procedimiento descrito por Lorente et al. (2021). A partir de la relación  $P_n/g_s$  se estimó la eficiencia intrínseca del uso del agua (EUAi), para la que se fijó una concentración de 400 ppm de  $CO_2$ , una radiación fotosintéticamente activa (PAR) de  $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  y una velocidad de flujo de aire de  $500 \mu\text{mol}/\text{s}$  (Gómez- Bellot et al., 2015).

#### 3.4.4. Relaciones hídricas

No fue posible la determinación directa del potencial hídrico foliar debido a la gran exudación de látex de la planta. Para estudiar las relaciones hídricas, se midió el potencial osmótico a plena turgencia ( $\Psi_{100s}$ ) y el contenido relativo de agua (CRA) en seis plantas por tratamiento durante las horas centrales de luz.  $\Psi_{100s}$  se midió utilizando un osmómetro de presión de vapor WESCOR 5520 (Wescor Inc., Logan, UT, USA) y siguiendo el método descrito por Gucci et al. (1991), con la salvedad de que las hojas se colocaron previamente en agua destilada durante 24h. El CRA se calculó utilizando la ecuación 2:

$$\text{Contenido relativo de agua (CRA)} = \frac{P_f - P_s}{P_t - P_s} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde  $P_f$  es el peso fresco inicial de la hoja medido cuando se muestrearon las hojas,  $P_t$  es el peso fresco después de introducir las hojas por el pecíolo en un matraz con agua destilada durante 24 horas, y  $P_s$  es el peso seco de la hoja después de secar las hojas en un horno a 60°C hasta la pérdida total de humedad.

#### 3.4.5. Fluorescencia de clorofila

La fluorescencia de clorofila se midió al final del ensayo mediante un fluorímetro modulado por pulso FMS-2 (Gomensoro Scientific Instrumentation, S.A., Madrid, España) (Fotografía 6) siguiendo el método descrito por Miralles et al. (2011).



**Fotografía 6.** Medida de fluorescencia clorofílica.

Los parámetros medidos fueron:

- 1) Máxima eficiencia fotoquímica del fotosistema II (PSII; Fv/Fm),
- 2) Producción cuántica efectiva (éPSII).
- 3) Quenching no fotoquímico (NPQ).

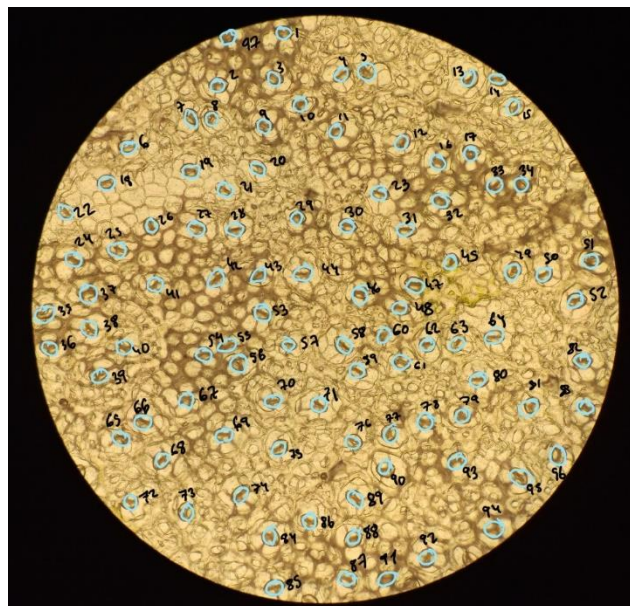
El éPSII se utilizó para calcular la tasa de transferencia de electrones (ETR) siguiendo el método de Krall y Edwards (1992).

#### 3.4.6. Área foliar

El área foliar se determinó en 10 plantas al finalizar el tratamiento. De cada una de ellas se extrajeron 15 hojas y se dispusieron ordenadamente junto a un cuadrado de 4cm<sup>2</sup> de referencia para estimar a partir de una fotografía en un programa LI-3100C (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA).

#### 3.4.7. Densidad estomática

Para determinar la densidad estomática, se tomaron cuatro hojas de la zona media de cinco plantas por tratamiento. Posteriormente, se realizaron impresiones de la superficie foliar en resina y se recubrieron con un pintañas transparente, cuya impresión se visualizó utilizando un microscopio de luz. Las imágenes se grabaron en el microscopio Olympus BX52 (Tokio, Japón) utilizando una Nikon AS-F DX (Tokio, Japón). Se contaron los números de estomas (Fotografía 7) y se calculó la media para dar la densidad estomática.



**Fotografía 7.** Conteo del número de estomas.

### 3.4.8. Clorofila foliar

La cuantificación de la clorofila foliar se logró diluyendo 50 mg de hoja fresca en 5 ml de N, N-dimetilformamida, y dejándola en agitación durante un día a 4 °C en la oscuridad. El extracto resultante se midió en un espectrofotómetro Uvikon 940 (Kontron Instruments AG, Zürich, Suiza) a 647 nm para cuantificar la clorofila-a, y a 664 nm para la clorofila-b. Las concentraciones reales de clorofila se determinaron utilizando las ecuaciones reportadas por Inskeep y Bloom (1985).

### 3.4.9. Nutrientes e iones salinos en la planta

Una vez finalizado el ensayo, se secaron las hojas, tallos y raíces de 10 plantas representativas de cada tratamiento en un horno de convección a 65 °C durante 4 días hasta la pérdida total de humedad (Fotografía 8) y se ponderó en una balanza analítica de precisión (Mod. TE2145, Sartorius Weighing Technology, GmbH, Goettingen, Alemania).



**Fotografía 8.** Proceso de preparación de hojas, tallos y raíces para secado.

Para determinar el contenido de iones minerales en hojas, tallos y raíces se molieron las muestras hasta obtener un polvo fino y seco. Los elementos inorgánicos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$ ) se obtuvieron mediante espectrofotometría de emisión de plasma acoplada inductivamente (IRIS Intrepid II XDL ICP-OES, Thermo Fischer Scientific, Waltham, MA, USA).

Los tejidos vegetales se extrajeron mezclando 100 mg de polvo seco con 40 ml de agua desionizada. La mezcla se homogeneizó durante 30 min en una noria de agitación a 30 rpm y pasó a través de un filtro de jeringa de PTFE de 0,45  $\mu\text{m}$ . La concentración de cloruro se analizó en el extracto acuoso utilizando un analizador de cloruro (Mod. 926, Sherwood Scientific, Cambridge, Reino Unido). El nitrógeno total se midió con un analizador de nitrógeno (Mod. Flash EA 1112, Thermo Fischer Scientific, Waltham, MA, EE.UU.).

### **3.5. Análisis estadístico**

Los datos fueron estudiados mediante un análisis de la varianza unidireccional (ANOVA) utilizando el programa Stat-graphics Centurion (v.XVI, StatPoint Technologies, Inc, Warrenton, VA).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Parámetros de riego y consumo de agua

El promedio del contenido volumétrico de agua (CVA) en el sustrato fue similar para los tres tratamientos durante el ensayo a pesar de que los tratamientos salinos presentaron CVAs ligeramente superiores al control (Tabla 2). Es posible que estas pequeñas diferencias de humedad se deban a que los sustratos salinizados tengan una menor tasa de pérdida de humedad, ya sea por una tasa de evaporación reducida o bien por una disminución del consumo de agua por parte de la planta como respuesta al efecto osmótico que generan las sales. Como consecuencia de estos efectos, el control y CE3 recibieron similar número de eventos de riego, pero CE5 recibió un número de riegos menor, lo que se tradujo en un 13% menos de agua aplicada que el control.

Aunque el criterio de riego fue el mismo para todos los tratamientos, la fracción de drenaje de los dos tratamientos salinos fue mayor que la del control ya que el CVA medio del sustrato aumentó con la salinidad (Tabla 2). La diferencia entre el agua aplicada y el agua drenada determinó el consumo de agua, que fue similar entre control y CE3, pero un 16% menor que el control en CE5 (Tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros de riego al final del experimento para tratamientos de control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m). Contenido volumétrico de agua (CVA)\*.

Parámetros	Tratamientos					
	Control		CE3		CE5	
Sustrato medio CVA (%)	45,61	-	46,04	-	48,28	-
Número de eventos de riego	31	-	32	-	27	-
Agua aplicada (L/maceta)	26,35	-	27,20	-	22,95	-
Fracción de lixiviación (%)	14,03	a	16,87	b	17,08	b
Consumo de agua (L/maceta)	22,65	b	22,61	b	19,03	a

\* Distintas letras en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias en  $P < 0,05$  según la prueba de Diferencia Menos Significativa (LSD). - indica que no hay repeticiones.

La disminución del consumo de agua en plantas bajo riego salino ha sido reportada en otras especies como geranio (Valdés et al., 2015) y *Ficus benjamina* (Katerji et al., 2000). Esta disminución se ha relacionado con el efecto osmótico de las sales (Acosta-Motos et al. 2017) y con la reducción de varios aspectos como la evaporación del sustrato (Al-Busaidi et al., 2009; Valdés et al., 2014), el área foliar (Kang et al., 2000) y la capacidad de intercambio gaseoso (Bolla et al., 2010).

#### 4.2. Crecimiento, desarrollo y eficiencia del uso de agua

El índice de crecimiento de las plantas control fue reducido en un 5% por CE3, y en un 11% por CE5 (Tabla 3). Este índice nos informa sobre el tamaño de planta, cuya reducción es una de las primeras respuestas frente a la salinidad (Fotografía 9) (Fornes et al., 2007). Usando este mismo índice de crecimiento, Wang et al. (2019) encontraron disminuciones similares a las nuestras cuando plantas de *Spiraea japonica* se regaron con agua de 3 y 6 dS/m.



**Fotografía 9.** Reducción del tamaño de la planta por el efecto de la salinidad.

Por otro lado, se ha sugerido que la producción de biomasa seca, peso seco, es un parámetro muy sensible a la salinidad (Parida and Das, 2005), y es bastante habitual determinar la tolerancia a la salinidad utilizando el porcentaje de la producción de peso seco en condiciones salinas frente a condiciones no salinas (Munns et al., 2002). El peso seco total disminuyó un 16% en CE3 y un 37% en CE5, respecto al control, lo que demuestra que la producción de peso seco en *Euphorbia A.R.* es más sensible a la salinidad que el tamaño de planta. García-Caparrós et al. (2016) observaron reducciones del 30% del peso seco total en tres especies ornamentales regadas con agua de salinidad moderada. La sensibilidad del crecimiento de las raíces a la salinidad fue mayor que la de la parte aérea, con reducciones de peso seco del 24 y 49% para CE3 y CE5, que hicieron caer la relación raíz/tallo respecto al control (Tabla 3). Sin embargo, la salinidad suele reducir más el crecimiento aéreo que el radicular (Bernstein and Kafkafi, 2002; Munns et al., 2002), porque se mejora la retención de iones salinos y la capacidad de las plantas para satisfacer la demanda transpirativa (Miralles et al., 2009; Alvarez and Sanchez-Blanco, 2014). El número de tallos florales no se vio afectado por los tratamientos (Tabla 3).

Aunque el crecimiento puede ser reducido por la salinidad del riego, la calidad visual de la planta no tiene por qué estar comprometida (Hoch et al., 2001). La salinidad altera



generalmente algunas características morfológicas y funcionales de las hojas, como el área foliar (Percival, 2015), la densidad estomática (Shabala et al., 2012) y los niveles de pigmentos fotosintéticos (Bres et al., 2015). Entre estos parámetros, el más sensible al estrés salino es el área foliar, que suele ser disminuida para limitar la transpiración y la pérdida de agua (Cassaniti et al, 2012; Acosta-Motos et al., 2017). El tratamiento CE3 produjo una reducción moderada del área foliar respecto al control (15%), mientras que la reducción en CE5 fue importante (38%) (Tabla 3).

El riego con salinidad moderada (CE3) no alteró la densidad estomática, mientras que el riego con la más alta salinidad la redujo respecto al control (Tabla 3). Kwon et al. (2019) encontraron, como en nuestro trabajo, una disminución de la densidad estomática en plantas de clavel bajo alto estrés salino, lo que se ha considerado un mecanismo para frenar la transpiración (Junior Pastor Perez-Molina et al. 2021). Por otro lado, Orsini et al. (2012) sugirieron que una baja densidad estomática puede ser favorable frente a ambientes marginales salinos o secos.

El contenido de clorofila en las hojas fue reducido por la salinidad, con pérdidas del 25% y 62% para CE3 y CE5, respectivamente, con respecto al control (Tabla 3). Pero el colorido variegado de las hojas de *Euhprobia* A.R. enmascara la apreciación visual de la reducción de la clorofila. En otras especies ornamentales se han reportado reducciones de clorofila foliar cuando se aplicaron altos niveles de NaCl (Bres et al., 2015; Gómez-Bellot et al. 2018), lo que ha propiciado su uso como indicador de tolerancia a la salinidad (Ashraf and Harris, 2013). Así, las especies que son capaces de mantener sus niveles de clorofila foliar bajo salinidad son consideradas más tolerantes al estrés salino que aquellas que lo disminuyen (Parida and Das, 2005; Acosta-Motos et al., 2015).

La salinidad no produjo necrosis en las hojas, pero si fomentó la presencia antocianinas en forma de pigmentación rojiza tanto en los ápices como en los márgenes del limbo. Esta coloración refleja un aspecto más senescente de la planta desde que algunas hojas llegaron a desprenderse en las últimas semanas del periodo experimental (Tabla 3). Diversos autores han indicado que el estrés ambiental, como el salino, suele aumentar la síntesis de antocianinas en la planta (Bres et al. 2015; Jafari et al. 2019). En nuestro caso, las plantas CE5 presentaron un 16,75 % de sus hojas con manchas rojizas, mientras que este porcentaje fue insignificante en CE3 (Tabla 3). Se ha relacionado la acumulación de antocianinas en órganos vegetales con el aumento de la producción de etileno (Jin et al., 2019; Zhang et al., 2021), quizá porque las hojas dañadas por las sales aumentan la síntesis de etileno (Abeles et al., 2012). Esta hormona

fomenta la senescencia y la abscisión de hojas (Brown, 1997), por lo que es probable que fuera el causante de que se desprendieran las hojas más dañadas de *Euphorbia A.R.* (Tabla 3).

La eficiencia en el uso del agua (EUA) en términos de producción de biomasa seca por cantidad de agua aplicada disminuyó al aumentar la salinidad (Tabla 3), lo que sugiere que *Euphorbia A.R.* es poco eficiente en el uso de agua para producir biomasa en un entorno salino. Álvarez and Sánchez-Blanco (2015) encontraron que la salinidad reducía la EUA de *Callistemon laevis*, mientras que el estrés hídrico lo aumentaba. García-Caparrós et al. (2017) reportaron al igual que nosotros que la salinidad redujo la EUA de *Aloe vera* y *Kalanchoe blossfeldiana*, plantas que son suculentas *Euphorbia A.R.*

**Tabla 3.** Parámetros de crecimiento y desarrollo de *Euphorbia A.R.* al final del experimento, y eficiencia en el uso del agua (EUA). Control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m).

Parámetros	Tratamientos					
	Control		CE3		CE5	
Índice de tamaño de la planta (cm)	49,67	c	47,17	b	44,13	a
Peso seco de la planta (g)	45,65	c	37,54	b	28,10	a
Peso seco de la hoja (g)	11,83	c	10,12	b	7,42	a
Peso seco del tallo (g)	14,93	c	12,98	b	11,03	a
Peso seco de la raíz (g)	18,88	c	14,43	b	9,66	a
Relación raíz-brote	0,71	c	0,62	b	0,52	a
Total de brotes por planta (ud.)	12		11		8	
Brotes de floración por planta (ud.)	3		3		5	
Área foliar (dm <sup>2</sup> )	72,78	c	61,60	b	44,77	a
Densidad estomática (n <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )	214,00	b	221,00	b	179,00	a
Clorofila foliar (mg/g FW)	1,95	c	1,46	b	0,74	a
Hojas dañadas (%)	0,00	a	4,09	b	16,75	c
Hojas de Fallen (%)	0,00	a	0,04	b	1,91	c
EUA (g/L)	2,02	c	1,66	b	1,48	a

\*Diferentes letras en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias en  $P < 0,05$  según la prueba de Diferencia Menos Significativa (LSD).

### 4.3. Distribución de nutrientes e iones salinos en la planta

La salinidad modificó la concentración de los principales nutrientes y favoreció la acumulación de iones salinos, tanto en la parte aérea como en las raíces (Tabla 4). El N foliar fue reducido ligeramente en CE5, mientras que el contenido de N del tallo no varió en los dos tratamientos salinos. Sin embargo, tanto CE3 como CE5 presentaron un 24% más de N en las raíces que el control, lo que indica que *Euphorbia A.R.* promueve la retención radicular de este nutriente bajo salinidad. La razón de ello podría justificarse considerando tres aspectos: la fuerte

reducción del crecimiento radicular en los tratamientos salinos (Tabla 2); la menor traslocación de  $\text{NO}_3$  debido a la competencia del cloruro (Papadopoulos and Rending, 1983); y la mayor dificultad de absorber agua por el efecto osmótico (Abdelgadir et al., 2005). La disminución de la absorción de N en plantas crecidas en ambientes salinos se ha relacionado con una mayor sensibilidad al estrés salino (Chaparzadeh et al., 2003).

El contenido de P en las hojas y tallos se redujo proporcionalmente al nivel de salinidad (Tabla 4), pero en las raíces solo el tratamiento EC5 redujo el contenido de P, provocando un 21% de reducción respecto al control. La disminución del P por la salinidad ha sido observada en otras plantas ornamentales como *Calendula* sp. (Fornes et al., 2007) y *Tagete erecta* (Singh et al. 2014). La salinidad fomentó la acumulación de K en las hojas, ya que las plantas CE3 y CE5 acumularon 1,6 y 1,9 veces más  $\text{K}^+$  que el control, respectivamente. Por otro lado, el contenido de  $\text{K}^+$  en el tallo disminuyó a la mitad en CE5, mientras que no hubo diferencias estadísticamente significativas en CE3. Asimismo, el contenido de  $\text{K}^+$  en las raíces no varió entre tratamientos (Tabla 4). Thomas and Lingdale (1980) encontraron una mayor concentración foliar de  $\text{K}^+$  en *Cynodon dactylon* crecido en áreas salinas en comparación con los crecidos en áreas no salinas. Grieve y Poss (2010) encontraron también un aumento de la concentración de  $\text{K}^+$  en las hojas de girasol como respuesta a la salinidad. La acumulación de  $\text{K}^+$  en los tejidos foliares es un mecanismo que desarrollan las plantas bajo salinidad para aumentar la resistencia a los daños por altas concentraciones de sodio (Rahi and Singh 2011).

La salinidad incrementó las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en las hojas, tallos y raíces, pero no produjo diferencias significativas entre CE3 y CE5 (Tabla 3). Los tratamientos salinos aumentaron tres y cinco veces el contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en las hojas, respectivamente, mientras que el aumento en el tallo fue menor. En las raíces, duplicaron la acumulación de  $\text{Ca}^{2+}$ , mientras que el contenido de Mg fue 2,4 veces mayor que el del control. Acosta-Motos et al. (2015) encontraron una respuesta del  $\text{Ca}^{2+}$  similar al encontrado en nuestro estudio, al reportar un aumento en todos los órganos de *Eugenia* sp. cultivada bajo salinidad. Igualmente, Singh et al. (2014) reportaron la acumulación de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en *Tagete erecta*, que relacionaron con su mayor suministro en el agua de riego. Fornes et al. (2007) encontraron un incremento de la concentración de  $\text{Mg}^{2+}$  en *Petunia*, y de  $\text{Ca}^{2+}$  en *Calceolaria* como respuesta a altos niveles de salinidad. Puesto que el  $\text{Mg}^{2+}$  es esencial a la hora de la síntesis de la clorofila, elevadas concentraciones de magnesio se han relacionado con un mecanismo de estimular la síntesis de clorofila en plantas salinizadas (Rahi and Singh, 2011). Kovacs et al. (1995) observaron una alta concentración de magnesio halófitas y quenopodiáceas cultivadas en suelos altamente

salinos. La acumulación de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en las plantas salinizadas ha sido descrito por Scholberg y Locassio (1999) como un mecanismo de defensa de la pared celular frente a las lesiones por alta salinidad ( $\text{NaCl}$ ) en las plantas de judías rojas. Por otro lado, Osmond (1965) y Greenway (1968) observaron que el  $\text{Ca}^{2+}$  favorece la acumulación de potasio e inhibe el transporte de iones como el  $\text{Na}^+$ .

Los niveles de  $\text{Na}^+$  aumentaron fuertemente en todos los órganos de la planta (Tabla 4). En las hojas, el contenido de  $\text{Na}^+$  fue 7 y 19 veces mayor en CE3 y CE5, respecto al control. La concentración de  $\text{Cl}^-$  desarrolló un patrón similar al  $\text{Na}^+$  en todos los órganos de la planta, aunque su incremento no fue tan alto como el del  $\text{Na}^+$ . Sin embargo, concentraciones de  $\text{Cl}^-$  alrededor de 10 mg/g pueden ser tóxicas para algunas especies (Colmenero-Flores et al., 2019). En nuestro caso, CE5 produjo un contenido de  $\text{Cl}^-$  foliar próximo a 10 mg/g, lo que sugiere que *Euphorbia* A.R. puede incluirse en el grupo de plantas sensibles a  $\text{Cl}^-$ . El hecho de que la salinidad favoreciera una acumulación de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  en la parte aérea mayor que en las raíces (Tabla 4), indica que *Euphorbia* A.R. presenta una capacidad moderada para retener ambos iones en las raíces, especialmente  $\text{Cl}^-$ , y evitar su ascensión a la parte aérea. Entonces, bajo ambiente salino, las raíces absorben las sales del sustrato y las translocan a la parte aérea, donde pueden causar toxicidad en el protoplasma a través de la acción específica de iones como el  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  (Acosta-Motos et al., 2017). Las altas concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  encontradas en los tejidos de *Euphorbia* A.R. sugieren que la reducción del peso seco puede atribuirse a la toxicidad de estos iones (Hoch et al., 2001). Igualmente, se ha descrito que concentraciones elevadas de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en las hojas puede degradar la clorofila (Cassanitti et al., 2012), tal y como ocurrió en este caso con *Euphorbia* A.R..

La acumulación de  $\text{Na}^+$  en las células puede interferir en la translocación del  $\text{K}^+$  desde las raíces a la parte aérea de la planta y en su transporte en la membrana plasmática, lo que se traduce en una reducción en la absorción del  $\text{K}$  (Gao et al., 2016). Sin embargo, las plantas suelen ser más sensibles a la relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  que a la cantidad absoluta de  $\text{Na}^+$  (Cuin et al., 2009). Mientras que la concentración de  $\text{K}$  aumentó en las plantas CE3 y CE5, el ratio  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  disminuyó en estos mismos tratamientos (Tabla 4). Esta disminución indica una tolerancia a la salinidad limitada. A modo de referencia, se ha sugerido que la relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  en plantas no halófitas debe ser  $>1$  para el mantenimiento normal de las funciones metabólicas reguladas por el  $\text{K}^+$  (Ashraf, 1992). En nuestro caso, la relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  en las hojas de las plantas CE3 estuvo por encima de este valor crítico, mientras que en CE5 esta relación estuvo por debajo (Tabla 4).

#### 4.4. Termografía foliar y parámetros fotosintéticos

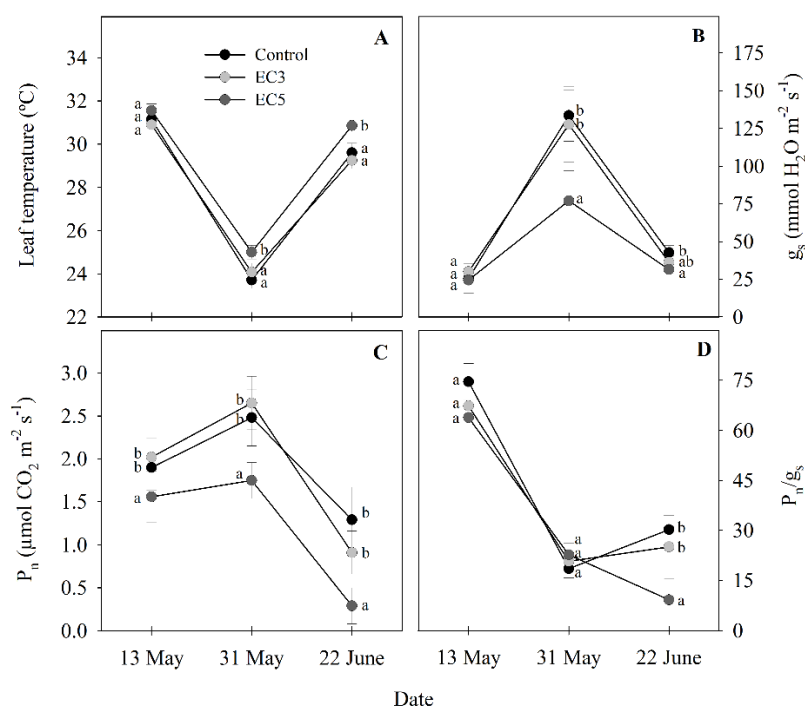
La temperatura foliar fluctuó entre 24°C y 32°C, considerando todos los tratamientos (Figura 3A). Esta oscilación térmica en las hojas se debió a una fuerte bajada de la temperatura ambiental el 31 de mayo (Figura 1). La temperatura de las hojas en CE5 fue ligeramente mayor que las de las plantas CE3 y control, las cuales registraron temperaturas similares. En otras especies, distintos autores han reportado diferencias similares de temperatura foliar entre plantas estresadas y no estresadas por sal (James and Furbank, 2009; Gómez-Bellot et al., 2015). Urrestarazu (2013) encontró en plantas de *Syngonium podophyllum* y *Philodendron erubescens* estresadas por salinidad, una correlación negativa entre temperatura foliar y la transpiración. Basándose en dicha correlación, Azevedo-Neto et al. (2004) sugirieron que la temperatura foliar puede ser un buen indicador del grado de estrés salino al que está sometida una planta.

La evolución de la conductancia estomática (gs) de Euphorbia A.R. fue inversamente proporcional a la temperatura foliar. El descenso de 5°C producido entre el 13 y el 31 de mayo aumentó la gs en todos los tratamientos (Figura 3B), lo que sugiere una rápida apertura de los estomas porque las temperaturas del 31 de mayo fueron más inductivas para el crecimiento (Urban et al. 2017). En esta fecha las plantas alcanzaron los valores más eficientes de gs, alrededor de 125 mmol H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>s, y las tasas de fotosíntesis más altas del experimento (Figura 3C). La apertura estomática ocasionada por el descenso de la temperatura fue efectiva para las plantas CE3 y control, pero no para CE5 (Figura 3B). Esta discrepancia sugiere que las plantas CE5 no transpiraban adecuadamente, probablemente porque estaban más estresadas osmóticamente (Passioura, 2010). Bajo estrés osmótico, los estomas se cierran, la tasa de respiración de los tejidos disminuye (Acosta-Motos et al., 2017), y la temperatura de las hojas asciende. Comparando las Figuras 2A y B, observamos que temperaturas foliares superiores a 29°C limitaron la apertura estomática de forma irreversible.

La tasa de fotosíntesis (Pn) de las plantas CE5 fue menor que la de CE3 y control, las cuales mostraron una actividad fotosintética similar (Figura 3C). Del 13 al 31 de mayo hubo una tendencia al alza de la Pn como respuesta al aumento de la gs, que no fue significativa en CE5. Por el contrario, la Pn cayó en todos los tratamientos en la última medida (24 de junio), fecha en la que las plantas CE5 presentaron una tasa de fotosíntesis extremadamente baja (Figura 3C). La síntesis de fotoasimilados es prácticamente nula bajo estas condiciones, por lo que la planta tiene que usar sus asimilados y en consecuencia el crecimiento se reduce, como ocurrió en las plantas CE5 (Tabla 2). La reducción de la actividad fotosintética de Euphorbia A.R. podría estar relacionada, además de con el cierre estomático (Flexas et al., 2004), con la

acumulación tóxica de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en las plantas (Álvarez et al., 2012) y con la alteración del contenido de pigmentos en los cloroplastos (Veatch-Blohm et al. 2012), como fue anteriormente discutido.

La ratio  $\text{Pn}/\text{gs}$  fue similar entre todos los tratamientos durante el mes de mayo, aunque disminuyó entre el 13 y el 31 de mayo (Figura 3D). En este tramo, la respuesta de  $\text{Pn}$  fue proporcional a  $\text{gs}$  en los tres tratamientos, lo que indica una fuerte correlación entre los dos parámetros. Pero del 31 de mayo al 22 de junio, la relación  $\text{Pn}/\text{gs}$  en CE3 y control aumentaron, mientras que la de CE5 continuó descendiendo porque la actividad fotosintética de estas plantas no se recuperó (Figura 3D). El aumento de la relación  $\text{Pn}/\text{gs}$  se considera un mecanismo adaptativo frente al estrés hídrico (Chaves et al., 2011), que permite reducir el crecimiento y la pérdida de agua (Cameron et al., 2006; Álvarez and Sánchez-Blanco, 2013); sin embargo, esta adaptación no fue desarrollada por *Euphorbia* A.R.



**Figura 3.** Tasa de intercambio de gases y transporte de electrones (ETR). Fotosíntesis neta al mediodía ( $\text{Pn}$ , A), conductancia estomática al mediodía ( $\text{gs}$ , B), eficiencia del uso del agua intrínseca (EUAI, C), temperatura foliar (D).

#### 4.5. Relaciones hídricas en la planta

No hubo cambios estadísticamente significativos en el contenido relativo de agua foliar (CRA) entre los tratamientos en ninguna de las tres medidas realizadas durante las últimas semanas de cultivo (Figura 4A). En la última medida, CE5 tendió a reducir el CRA respecto a CE3 y control, tendencia que no fue estadísticamente significativa por la gran variabilidad de

las medidas (Figura 4A). El CRA promedio durante todas las medidas fue de  $90,85 \pm 0,61$ , lo que ayuda a mantener un equilibrio osmótico estable en las hojas. Veatch-Blohm et al. (2014) encontraron también la ausencia de efectos de la salinidad sobre el CRA en hojas de *Narcissus sp.* Sin embargo, en la mayoría de las especies, el aumento de la salinidad tiende a reducir el CRA (Nader et al. 2003). Probablemente, el hecho de que *Euphorbia A.R.* sea una planta suculenta con una buena capacidad de almacenar agua en sus tejidos, haya influido en la respuesta del CRA a la salinidad. Con otro híbrido, *Euphorbia x lomi* Rauh, Fascella et al. (2017) no encontraron efectos sobre el CRA foliar cuando las plantas se regaron con agua entre 2 y 6 dS/m. El aumento del CRA bajo estrés salino se ha relacionado con la tolerancia a la salinidad (Kaya et al., 2003), por tanto, el mantenimiento del CRA en las hojas de *Euphorbia A.R.* es un aspecto positivo frente al estrés salino (Álvarez et al., 2012).

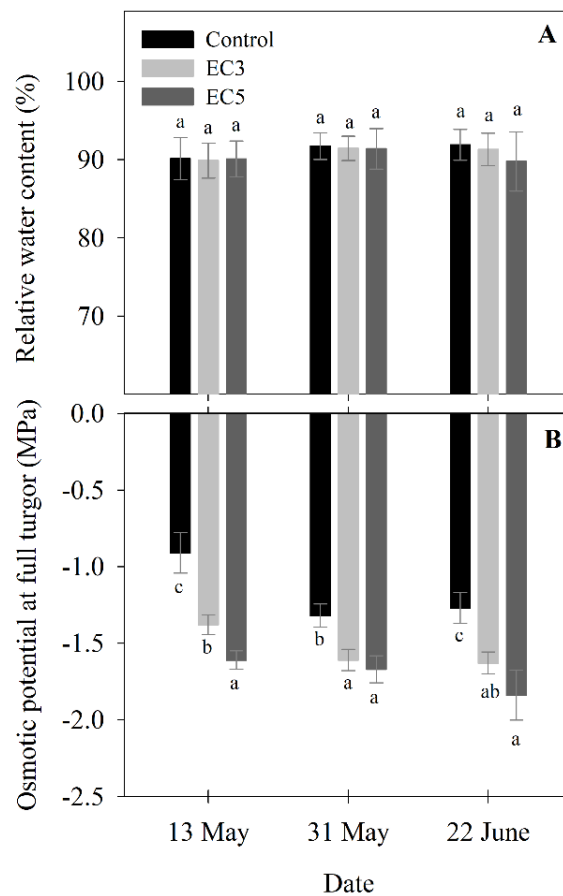
El potencial osmótico a pleno turgor ( $\Psi_{100s}$ ) decreció significativamente con la salinidad en las tres medidas realizadas (Figura 4B). Evolutivamente, el  $\Psi_{100s}$  tendió a disminuir entre el 13 de mayo y el 22 de junio en todos los tratamientos. Estos resultados indican que *Euphorbia A.R.* es propensa a desarrollar ajuste osmótico bajo salinidad, lo que favorece la hidratación de sus tejidos bajo estrés salino (Alvarez et al., 2012). Este comportamiento también se ha observado en otras especies de plantas ornamentales (Sánchez-Blanco et al., 1998; Navarro et al., 2008). El ajuste osmótico induce la acumulación de solutos que reducen el potencial osmótico de la célula (Osakabe et al., 2014) y, entre estos solutos, se encuentran iones inorgánicos como el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , que fueron acumulados en las plantas de *Euphorbia A.R.* regadas con agua salina (Tabla 4). Varios autores también han reportado que la producción de ciertos pigmentos foliares, como las antocianinas, puede participar en los procesos de ajuste osmótico (Carillo et al. 2011; Hayat et al. 2012).

**Tabla 4.** Concentración de nutrientes e iones salinos en hoja, tallo y raíz de *Euphorbia A.R.* para control (1,8 dS/m), CE3 (3,3 dS/m) y CE5 (4,9 dS/m).

Iones (mg/g)	Estudio	Tratamientos					
		Control		CE3		CE5	
N	Hoja	23,45	b	21,94	a	21,17	a
	Tallo	21,06	a	21,03	a	20,46	a
	Raíz	22,74	a	28,26	b	28,14	b
P	Hoja	2,36	c	2,19	b	1,70	a
	Tallo	3,00	c	2,60	b	2,37	a
	Raíz	1,93	b	1,85	b	1,53	a
$\text{K}^+$	Hoja	14,77	a	24,35	b	27,82	c
	Tallo	10,23	b	10,06	b	5,52	a

Ca <sup>2+</sup>	Raíz	12,97	a	14,39	a	13,05	a
	Hoja	3,96	a	12,89	b	14,05	b
	Tallo	2,94	a	6,94	b	7,42	b
Mg <sup>2+</sup>	Raíz	2,35	a	4,41	b	4,85	b
	Hoja	1,16	a	5,05	b	5,63	b
	Tallo	0,69	a	1,98	b	2,19	b
Na <sup>+</sup>	Raíz	0,94	a	2,31	b	2,32	b
	Hoja	1,60	a	11,14	b	30,25	c
	Tallo	8,35	a	34,03	b	44,13	c
Cl <sup>-</sup>	Raíz	8,01	a	21,10	b	35,21	c
	Hoja	3,53	a	6,61	b	9,94	c
	Tallo	3,80	a	6,09	b	8,76	c
K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	Raíz	2,30	a	3,01	b	4,78	c
	Hoja	9,23	c	2,19	b	0,92	a
	Tallo	1,23	c	0,30	b	0,13	a
	Raíz	1,62	c	0,68	b	0,37	a

\* Diferentes letras en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias en  $P < 0,05$  según la prueba de diferencia menos significativa (LSD).



**Figura 4.** Relaciones hídricas en planta. Contenido relativo de agua en hojas (CRA, A) y potencial osmótico en turgencia total ( $\Psi_s$ , B).



#### 4.6. Fluorescencia clorofílica

Tal y como se ha discutido en la sección anterior, el estrés salino puede afectar a la fotosíntesis al limitar la conductancia estomática, sin embargo, un estrés salino más severo puede aumentar la susceptibilidad a la fotoinhibición (Hoch et al., 2001). La acumulación de iones tóxicos o la reducción de pigmentos fotosintéticos en las hojas puede dañar el fotosistema II (PSII) (Parida et al., 2002; Stepien and Klobus, 2006; Duarte et al., 2013). Las plantas de *Euphorbia A.R.* más salinizadas (CE5) redujeron considerablemente los principales parámetros de fluorescencia clorofílica: rendimiento cuántico máximo del PSII ( $F_v/F_m$ ), rendimiento cuántico efectivo ( $\epsilon_{PSII}$ ), la extinción no fotoquímica (NPQ), y la tasa de transporte de electrones (ETR) (Figura 5). Aunque el tratamiento CE3 produjo una leve reducción de estos parámetros, los efectos no fueron estadísticamente significativos.

El estrés salino generalmente reduce los parámetros de extinción fotoquímica, como ocurrió en CE5, y suele aumentar el NPQ para proteger la planta (Lee, et al., 2013; Acosta-Motos et al. 2015). El aumento de NPQ debido a un estrés es un mecanismo de disipación del exceso de energía de excitación en forma de calor para minimizar la generación de especies de oxígeno reactivo que dañarían el PSII (Maxwell and Johnson 2000). Sin embargo, este mecanismo protector no fue efectivo en *Euphorbia A.R.* bajo salinidad, ya que CE3 no varió el NPQ mientras que CE5 lo redujo (Figura 5). La respuesta de NPQ al estrés salino se ha relacionado tanto con la tolerancia de la especie a la sal como con la intensidad del estrés (Lee et al., 2013, Shu et al., 2013). Bajo riego salino, Moradi and Ismail (2007) encontraron que las variedades de arroz tolerantes a la sal aumentaban más el NPQ que las variedades sensibles. Por otro lado, Miralles et al. (2011) reportaron que el NPQ disminuía en plantas de adelfa heladas respecto a plantas no heladas, como consecuencia del deterioro de este sistema de protección por el fuerte estrés. En nuestro experimento, no hubo disipación térmica en CE3, probablemente porque las plantas no estuvieron lo suficientemente estresadas, mientras que un fuerte estrés en las plantas CE5 desestabilizó la desexcitación de los centros del PSII por el NPQ. El valor de  $F_v/F_m$  de 0,53 (Figura 5) confirma que CE5 presentó una actividad fotoquímica deficiente, porque 0,83 es considerado un  $F_v/F_m$  óptimo para la mayoría de las especies (Johnson et al., 1993).

La actividad fotoquímica también puede expresarse a través de la tasa de transporte de electrones (ETR), y la relación ETR/ $P_n$  suele utilizarse para evaluar el uso de la producción fotoquímica en el proceso fotosintético (D'Ambrosio et al., 2006). Las plantas CE5 aumentaron ETR/ $P_n$  respecto a CE3 y control (Figura 5), indicando que el exceso de energía de excitación

se disipó en otros procesos fotoquímicos distintos a la fijación de CO<sub>2</sub> (Bañón et al., 2011; Miralles et al., 2011), fomentando procesos foto-oxidativos y la generación de especies reactivas del oxígeno que dañan los cloroplastos (Foyer et al., 1994; Acosta-Motos et al., 2017).

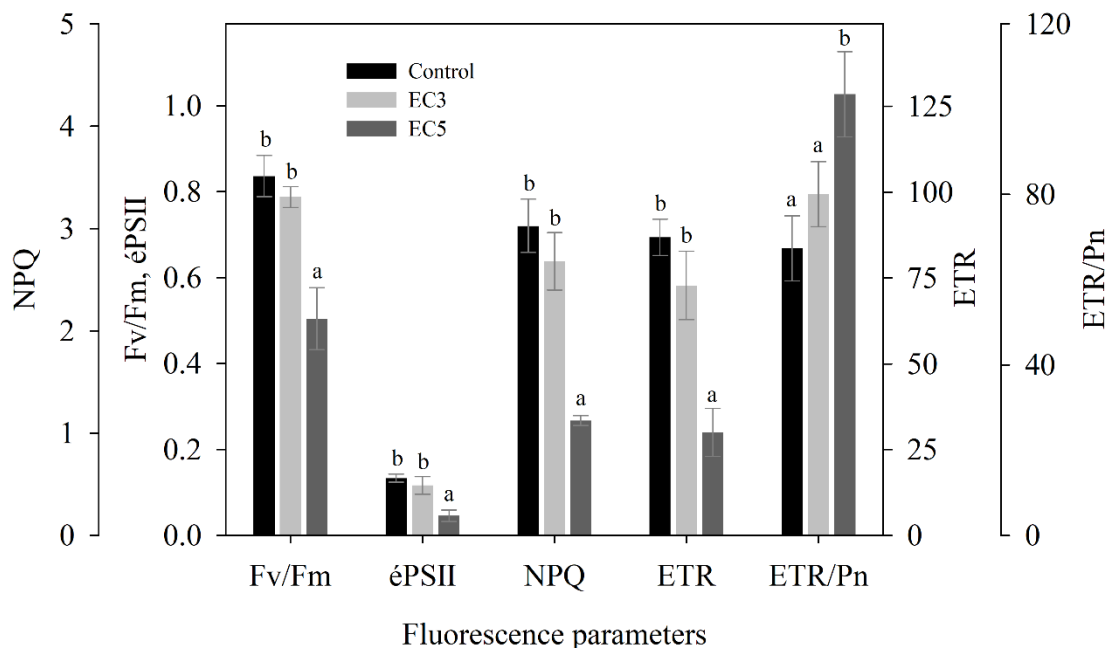


Figura 5. Parámetros de fluorescencia.

#### 4.7. Índices de salinidad

Los resultados mostraron que los ajustes lineales entre el tiempo de cultivo (TC) y la conductividad eléctrica del medio (CEb): TC-CEbai, TC-CEbbi y TC-CEbavg fueron significativos y positivos (Figura 6). Las pendientes positivas de las rectas reflejan un incremento de las tres conductividades con el paso del tiempo, como ocurre con la salinidad real cuando un medio de cultivo se riega con agua salina (Bañón et al., 2021). La pendiente de la recta de regresión TC-CEbai fue la más acentuada (Figura 6), lo que le concede una mayor sensibilidad para detectar cambios de salinidad que CEbbi y CEbavg. La mayor pendiente de CEbai se debe a que la medida de la CEb es más sensible cuanto mayor es la humedad del sustrato (Amente et al., 2000).

Por otro lado, se realizó un estudio de regresión para evaluar cómo los tres índices de salinidad propuestos (ISai, ISbi, y ISavg) predicen la CE del agua de riego (CEiw), conductividad que es una referencia del nivel de salinidad que soportan las plantas. Se encontraron relaciones lineales significativas entre los tres índices de salinidad y la CEiw (Tabla 5). Los ajustes lineales CEiw-ISai y CEiw-ISavg presentaron coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de 0,90 y 0,84, respectivamente, lo que indica que estos índices presentan una buena capacidad

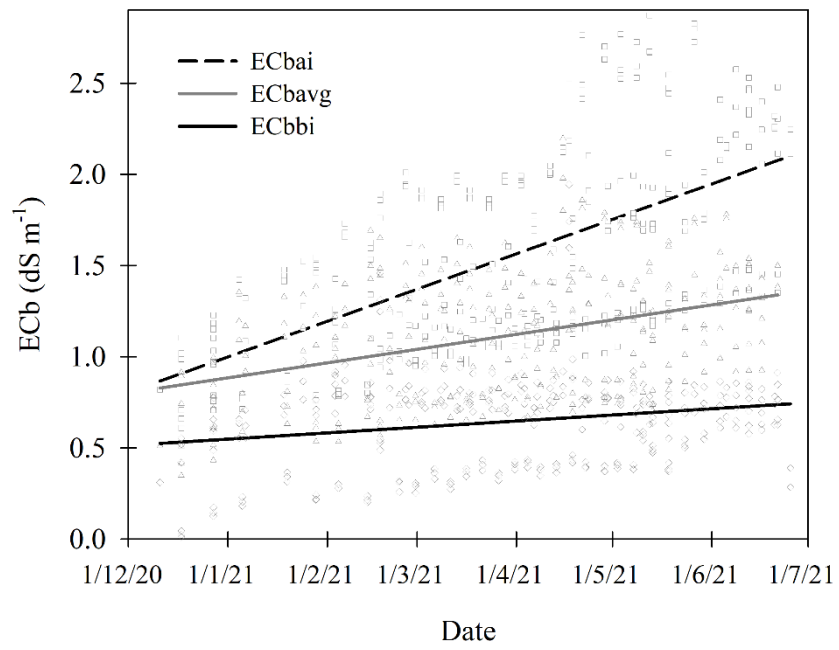
para predecir cambios de salinidad. Valdés et al. (2014) reportaron que la medida de la CEB a alta humedad fue eficaz para controlar la salinidad de la zona radicular en *Poinsetia*. En este sentido, Valdes et al. (2015) encontraron una relación lineal entre la CEB tras el riego y la CE del agua de los poros en un cultivo de *Osteospermum* en maceta regado con agua salina. La CEiw estuvo peor explicada por ISbi ( $r^2=0,60$ ), aun así, los valores estadísticos indican que este índice es también adecuado para conocer la salinización del medio. Bañón et al. (2021) indicaron que medir la CEB siempre a la misma humedad durante el ciclo de cultivo es el aspecto más relevante para que un índice de salinidad basado en la CEB sea útil.

El nivel de estrés de las plantas de *Euphorbia* A.R. regadas con agua salina, determinado por los parámetros agronómicos y fisiológicos anteriores, fue relacionado con los valores medios de los índices de salinidad. La respuesta de las plantas indica que CE3 redujo ligeramente el tamaño y la biomasa seca, sin mostrar daños foliares apreciables, y con un estado fisiológico y fotoquímico similar al control. Por el contrario, el tratamiento CE5 afectó negativamente el aspecto visual de las plantas, redujo el crecimiento y fomentó daños fotoquímicos, lo que condujo a plantas no comercializables. Mediante la ecuación mostrada en la Tabla 5, que relaciona CEiw e ISai, un agua de riego con 3 dS/m (CE3) se correspondería con 1,5 dS/m de ISai, que sería el valor umbral de salinidad. Esto significa, que manteniendo de un valor medio de ISai alrededor de 1,5 dS/m durante el periodo de cultivo de *Euphorbia* A.R., produciríamos plantas fisiológicamente sanas y comercializables. Sin embargo, usando la tabla 5 vemos que un riego con 5 dS/m (CE5) se corresponde con un valor de ISai de 2 dS/m, valor que no se debería alcanzar porque produciría plantas con importantes daños salinos y no comercializables. La forma de trabajar con estos índices de salinidad una vez fijado un umbral de salinidad en la programación, sería calculando continuamente el valor del IS a través del autómatas de riego, el cual cambiaría el criterio de riego para disminuir la salinidad cuando se exceda el umbral, bien aumentando la fracción de lavado o bien regando con agua de menor conductividad (Valdés et al. 2014; Incrocci et al., 2019).

**Tabla 5.** Análisis de regresión entre el agua de riego CE (CEiw) y los índices de salinidad. ISai, índice de salinidad basado en CEB justo después del riego (CEbai). ISbi, índice de salinidad basado en CEB justo antes del riego (CEbbi). ISavg, índice de salinidad basado en CEB promediado entre dos eventos de riego sucesivos (CEbavg).

Índices de salinidad	Ecuación lineal	Importancia	$r^2$
ISai	$CEiw = 3,28 CEbai - 1,88$	***	0,90
ISbi	$CEiw = 4,28 CEbbi - 1,53$	***	0,84
Isavg	$CEiw = 5,33 CEbavg - 0,19$	***	0,60

\*\*\*Indican significancia en  $P < 0,001$ . Coeficiente de determinación,  $r^2$ .



**Figura 6.** Pendientes de la CEb: CEbai, CEbbi y CEbavg.

## 5. ESTUDIO ECONÓMICO

El presente estudio económico se ha realizado para determinar la diferencia de costes entre el manejo de un riego convencional y de otro sensorizado con uso de agua marginal durante un año. Para llevarlo a cabo, previamente se ha contactado con algunos viveristas de plantas ornamentales de la zona. A posteriori se ha establecido lo siguiente (Tabla 6):

- 1) Se ha estimado que el consumo de agua en un vivero comercial respecto a nuestro manejo de riego se vería incrementado un 25%: un 15% por el mayor vertido de lixiviados y un 10% por la evapotranspiración. Ello se debe a que la sensorización permite disminuir la cantidad de drenaje, y a que el empleo de agua salina implica una mayor retención en el sustrato y por ende una menor evaporación.  
Para un vivero estándar de 3000 m<sup>3</sup> y una densidad de plantación de 6 macetas/m<sup>2</sup> (la más empleada en esta especie) el número total de plantas sería 18000. Teniendo en cuenta esto, se ha establecido un consumo anual de 940 m<sup>3</sup> en riego convencional y de 752 m<sup>3</sup> en el sensorizado.
- 2) Para el agua marginal se ha estimado un precio de 0,23 €/m<sup>3</sup>. El coste de agua de trasvase en la zona de Campo de Cartagena, actualizado por última vez el 14 de junio de 2021 (CRCC, 2021) era de 0,33 €/m<sup>3</sup>. El coste de la energía empleada en el transporte desde el trasvase Tajo-Segura hasta la propia parcela varía según su consumo. Soto, M. (2019) lo ha fijado en 1,1 kWh/m<sup>3</sup>, y el precio establecido una vez finalizó el estudio era de 0,35487 €/kWh. El total ascendería a 0,72 €/m<sup>3</sup> para un manejo convencional y a 0,23 €/m<sup>3</sup> en el sensorizado con agua marginal.
- 3) Conociendo que el precio unitario de los sensores de salinidad es de 330 €, que la vida útil de los mismos es de 5 años y que se necesitan un mínimo de 3 sensores por cada 1000 m<sup>2</sup> de plantación, se obtiene un coste anual de 594 €. El conjunto del programador CR1000 y los elementos electrónicos accesorios asciende a 2200 €. Al tener una vida útil estimada en 12 años, el precio anual sería de 183,34 €. El equipo completo tendría un coste anual de 777,34 €.
- 4) El precio del fertilizante empleado durante el estudio fue de 2 €/L, se aplicaría a la razón de 1L de abono por m<sup>3</sup> de agua para ambos casos

**Tabla 6.** Coste anual de plantación de *Euphorbia* A.R. bajo 3 supuestos manejos de riego.

	Riego convencional	Riego sensorizado y agua marginal
Consumo total (m <sup>3</sup> )	940	752

Precio agua (€)	676,80	172,96
Precio sensorización (€)	-	777,34
Fertilizante (€)	1880,00	1504,00
Total (€)	2556,80	2454,30

Tal y como se puede observar en la Tabla 6, entre un manejo de riego convencional y otro en el que se emplean sensores y agua marginal el coste anual varía ligeramente, viéndose reducido un 4% en este último. Estos resultados le asignan a la sensorización y al empleo de aguas no convencionales un gran potencial de cara a un futuro por su economización y su optimización a nivel medioambiental.

## 6. CONCLUSIONES

El manejo de un riego salino leve y moderado ( $\leq 3$  dS/m) no compromete la calidad ornamental y fisiológica de *Euphorbia* A.R. cultivada en maceta. Por el contrario, concentraciones más elevadas (5 dS/m) afectan a procesos fisiológicos como la síntesis y/o degradación de pigmentos foliares, la actividad fotosintética, y el comportamiento fotoquímico, generando plantas no aptas comercialmente. Por tanto, esta especie presenta una moderada tolerancia a la salinidad.

Se ha comprobado que la precisión de los índices de salinidad mejora cuando el sensor GS3 toma la medida de la CEB en el momento de máxima humedad tras la aplicación de riego. El manejo del índice de salinidad basado en la CEB tras el riego junto a las respuestas fisiológicas y agronómicas a la salinidad ha permitido establecer un umbral máximo de salinidad de 1,5 dS/m de ISai.

El conocimiento de este resultado permitirá mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción de planta en maceta, ya que posibilita la optimización de la relación riego-drenaje que conllevaría un ahorro de agua y la disminución del impacto ambiental del lavado de sales. Existe un potencial estudio en este ámbito, ya que tanto en viveros como en jardines establecer umbrales de salinidad para el gran abanico de especies implantadas comercialmente permitiría el aprovechamiento de recursos hídricos no convencionales unido a su gestión eficiente.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abdelgadir, E.M., Oka, M., Fujiyama, H., 2005. Characteristics of Nitrate Uptake by Plants Under Salinity. *Journal of Plant Nutrition* 28, 33–46. <https://doi.org/10.1081/PLN-200042156>
- Abeles, F.B., Morgan, P.W., Saltveit, M.E., 1992. CHAPTER 4 - Regulation of Ethylene Production by Internal, Environmental, and Stress Factors, in: Abeles, F.B., Morgan, P.W., Saltveit, M.E. (Eds.), *Ethylene in Plant Biology* (Second Edition). Academic Press, New York, pp. 56–119. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091628-6.50010-2>
- Acosta-Motos, J., Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M., Hernandez, J., 2017. Plant Responses to Salt Stress: Adaptive Mechanisms. *Agronomy* 7, 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Acosta-Motos, J.-R., Diaz-Vivancos, P., Álvarez, S., Fernández-García, N., Sanchez-Blanco, M.J., Hernández, J.A., 2015. Physiological and biochemical mechanisms of the ornamental *Eugenia myrtifolia* L. plants for coping with NaCl stress and recovery. *Planta* 242, 829–846. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2315-3>
- Acosta-Motos, J.R., Diaz-Vivancos, P., Álvarez, S., Fernández-García, N., Sánchez-Blanco, M.J., Hernández, J.A., 2015. NaCl-induced physiological and biochemical adaptative mechanisms in the ornamental *Myrtus communis* L. plants. *J Plant Physiol* 183, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.05.005>
- Al-Busaidi, A., Al-Rawahy, S., Ahmed, M., 2009. Response of Different Tomato Cultivars to Diluted Seawater Salinity. *Asian J. of Crop Science* 1, 77–86. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2009.77.86>
- Álvarez, S., Gómez-Bellot, M.J., Acosta-Motos, J.R., Sánchez-Blanco, M.J., 2019. Application of deficit irrigation in *Phillyrea angustifolia* for landscaping purposes. *Agricultural Water Management* 218, 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.049>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.12.035>
- Álvarez, S., Sánchez-Blanco, M.J., 2015. Comparison of individual and combined effects of salinity and deficit irrigation on physiological, nutritional and ornamental aspects of tolerance in *Callistemon laevis* plants. *Journal of Plant Physiology* 185, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.07.009>
- Álvarez, S., Sánchez-Blanco, M.J., 2013. Changes in growth rate, root morphology and water use efficiency of potted *Callistemon citrinus* plants in response to different levels of water deficit. *Scientia Horticulturae* 156, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.03.024>
- Amente, G., Baker, J.M., Reece, C.F., 2000. Estimation of Soil Solution Electrical Conductivity from Bulk Soil Electrical Conductivity in Sandy Soils. *Soil Science Society of America Journal* 64, 1931–1939. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6461931x>
- Andrews, J., 2022. *Euphorbia Plant Care & Varieties - Garden Design* [WWW Document]. GardenDesign.com. URL <https://www.gardendesign.com/plants/euphorbia.html> (accessed 3.2.22).
- Ashraf, M., Harris, P.J.C., 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166, 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>
- Ashraf, M., Khan, A.H., Azmi, A.R., 1992. Cell membrane stability and its relation with some physiological process in wheat. *Acta Agronomica Hungarica* 41, 183–191.
- Azevedo Neto, A.D. de, Prisco, J.T., Enéas-Filho, J., Lacerda, C.F. de, Silva, J.V., Costa, P.H.A. da, Gomes-Filho, E., 2004. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Braz. J. Plant Physiol.* 16, 31–38. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202004000100005>
- Bañón, S., Álvarez, S., Bañón, D., Ortuño, M.F., Sánchez-Blanco, M.J., 2021. Assessment of soil salinity indexes using electrical conductivity sensors. *Scientia Horticulturae* 285, 110171. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110171>
- Bañón, S., Miralles, J., Ochoa, J., Franco, J.A., Sánchez-Blanco, M.J., 2011. Effects of diluted and undiluted treated wastewater on the growth, physiological aspects and visual quality of potted lantana and polygala plants. *Scientia Horticulturae* 129, 869–876. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.05.027>



- Bayer, A., Whitaker, K., Chappell, M., Ruter, J., van Iersel, M.W., 2014. Effect of irrigation duration and fertilizer rate on plant growth, substrate solution EC and leaching volume. *Acta Hortic.* 477–484. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1034.59>
- Bernstein, N., Kafkafi, U., 2002. Root Growth Under Salinity Stress, in: *Plant Roots*. CRC Press.
- Bolla, A., Voyiatzis, D., Koukourikou-Petridou, M., Chimonidou, D., 2010. Photosynthetic parameters and cut-flower yield of rose ‘Eurored’ (H.T.) are adversely affected by mild water stress irrespective of substrate composition. *Scientia Horticulturae* 126, 390–394. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.034>
- Bonachela, S., Fernández, M.D., Cabrera-Corral, F.J., Granados, M.R., 2022. Salt and irrigation management of soil-grown Mediterranean greenhouse tomato crops drip-irrigated with moderately saline water. *Agricultural Water Management* 262, 107433. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107433>
- Boughalleb, F., Abdellaoui, R., Nbiba, N., Mahmoudi, M., Neffati, M., 2017. Effect of NaCl stress on physiological, antioxidant enzymes and anatomical responses of *Astragalus gombiformis*. *Biologia* 72, 1454–1466. <https://doi.org/10.1515/biolog-2017-0169>
- Bres, W., Kupska, A., Trelka, T., 2014. Response of scarlet sage and common sunflower plants to salinity caused by sodium salts. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica*.
- Brown, K.M., 1997. Ethylene and abscission. *Physiologia Plantarum* 100, 567–576. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb03062.x>
- Cameron, R.W.F., Harrison-Murray, R.S., Atkinson, C.J., Judd, H.L., 2006. Regulated deficit irrigation – a means to control growth in woody ornamentals. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81, 435–443. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512085>
- Carillo, P., Cirillo, C., De Micco, V., Arena, C., De Pascale, S., Roupael, Y., 2019. Morpho-anatomical, physiological and biochemical adaptive responses to saline water of *Bougainvillea spectabilis* Willd. trained to different canopy shapes. *Agricultural Water Management* 212, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.037>
- Cassaniti, C., Leonardi, C., Flowers, T.J., 2009. The effects of sodium chloride on ornamental shrubs 122, 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.032>
- Cassaniti, C., Romano, D., J., T., 2012. The Response of Ornamental Plants to Saline Irrigation Water, in: Garcia-Garizabal, I. (Ed.), *Irrigation - Water Management, Pollution and Alternative Strategies*. InTech. <https://doi.org/10.5772/31787>
- Chaparzadeh, N., Khavari-Nejad, R.A., Navari-Izzo, F., Izzo, R., 2003. Water relations and ionic balance in *Calendula officinalis* L. under salinity conditions. *Agrochimica (Italy)*.
- Chaves, M.M., Miguel Costa, J., Madeira Saibo, N.J., 2011. Chapter 3 - Recent Advances in Photosynthesis Under Drought and Salinity, in: Turkan, I. (Ed.), *Advances in Botanical Research, Plant Responses to Drought and Salinity Stress*. Academic Press, pp. 49–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387692-8.00003-5>
- Colmenero-Flores, J.M., Franco-Navarro, J.D., Cubero-Font, P., Peinado-Torrubia, P., Rosales, M.A., 2019. Chloride as a Beneficial Macronutrient in Higher Plants: New Roles and Regulation. *IJMS* 20, 4686. <https://doi.org/10.3390/ijms20194686>
- Ćosić, M., Stričević, R., Djurović, N., Lipovac, A., Bogdan, I., Pavlović, M., 2018. Effects of irrigation regime and application of kaolin on canopy temperatures of sweet pepper and tomato. *Scientia Horticulturae* 238, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.035>
- Cuin, T.A., Tian, Y., Betts, S.A., Chalmandrier, R., Shabala, S., Cuin, T.A., Tian, Y., Betts, S.A., Chalmandrier, R., Shabala, S., 2009. Ionic relations and osmotic adjustment in durum and bread wheat under saline conditions. *Functional Plant Biol.* 36, 1110–1119. <https://doi.org/10.1071/FP09051>
- Culp, D.L., Levine, A., 2012. *The Layered Garden: Design Lessons for Year-Round Beauty from Brandywine Cottage*. Timber Press.
- D’Ambrosio, N., Arena, C., De Santo, A.V., 2006. Temperature response of photosynthesis, excitation energy dissipation and alternative electron sinks to carbon assimilation in *Beta vulgaris* L. *Environmental and experimental botany*.

- Fascella, G., Mammano, M.M., Roupael, Y., Cirillo, C., 2017. Agronomical and physiological responses of containerized ornamentals to salinity induced by major nutrients. *Acta Hort.* 635–642. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1170.79>
- Ferrante, A., Trivellini, A., Malorgio, F., Carmassi, G., Vernieri, P., Serra, G., 2011. Effect of seawater aerosol on leaves of six plant species potentially useful for ornamental purposes in coastal areas. *Scientia Horticulturae* 128, 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.01.008>
- Fornes, F., Belda, R.M., Carrión, C., Noguera, V., García-Agustín, P., Abad, M., 2007. Pre-conditioning ornamental plants to drought by means of saline water irrigation as related to salinity tolerance. *Scientia Horticulturae* 113, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.008>
- Gao, Y., Lu, Y., Wu, M., Liang, E., Li, Y., Zhang, D., Yin, Z., Ren, X., Dai, Y., Deng, D., Chen, J., 2016. Ability to Remove Na<sup>+</sup> and Retain K<sup>+</sup> Correlates with Salt Tolerance in Two Maize Inbred Lines Seedlings. *Frontiers in Plant Science* 7.
- García-Caparrós, P., Contreras, J.I., Baeza, R., Segura, M.L., Lao, M.T., 2017. Integral Management of Irrigation Water in Intensive Horticultural Systems of Almería. *Sustainability* 9, 2271. <https://doi.org/10.3390/su9122271>
- García-Caparrós, P., Lao, M.T., 2018. The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. *Scientia Horticulturae* 240, 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.022>
- García-Caparrós, P., Llanderal, A., Pestana, M., Correia, P.J., Lao, M.T., 2016. Tolerance mechanisms of three potted ornamental plants grown under moderate salinity. *Scientia Horticulturae* 201, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.031>
- Gómez-Bellot, M.J., Lorente, B., Nortes, P., Ortuño, M.F., Sánchez-Blanco, M.J., Alarcón, J.J., 2021. Effect of mixed substrate with different mycorrhizal fungi concentrations on the physiological and productive response of three varieties of tomato. *Scientia Horticulturae* 283. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110040>
- Gómez-Bellot, M.J., Ortuño, M.F., Nortes, P.A., Bernavé, A., Fernández, F., Sánchez-Blanco, M.J., 2018. Effectiveness of bacterial inoculation in alleviation of salinity on water status, mineral content, gas exchange and photosynthetic parameters of *Viburnum tinus* L. plants. *Scientia Horticulturae* 237, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.028>
- Gómez-Bellot, M.J., Ortuño, M.F., Nortes, P.A., Vicente-Sánchez, J., Martín, F.F., Bañón, S., Sánchez-Blanco, M.J., 2015. Protective effects of *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* on soil and *Viburnum tinus* plants irrigated with treated wastewater under field conditions. *Mycorrhiza* 25, 399–409. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0621-4>
- Gorbe, E., Calatayud, A., 2012. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: A review. *Scientia Horticulturae* 138, 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.002>
- Grieve, C.M., Poss, J.A., 2010. Response of Ornamental Sunflower Cultivars ‘Sunbeam’ and ‘Moonbright’ to Irrigation with Saline Wastewaters. *Journal of Plant Nutrition* 33, 1579–1592. <https://doi.org/10.1080/01904167.2010.496883>
- Gucci, R., Xiloyannis, C., Flore, J.A., 1991. Gas exchange parameters, water relations and carbohydrate partitioning in leaves of field-grown *Prunus domestica* following fruit removal. *Physiologia Plantarum* 83, 497–505. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00126.x>
- Hagen, E., Nambuthiri, S., Fulcher, A., Geneve, R., 2014. Comparing substrate moisture-based daily water use and on-demand irrigation regimes for oakleaf hydrangea grown in two container sizes. *Scientia Horticulturae* 179, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.008>
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J., Ahmad, A., 2012. Role of proline under changing environments. *Plant Signal Behav* 7, 1456–1466. <https://doi.org/10.4161/psb.21949>
- Hilhorst, M.A., 2000. A Pore Water Conductivity Sensor. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1922–1925. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6461922x>
- Hoch, W.A., Zeldin, E.L., McCown, B.H., 2001. Physiological significance of anthocyanins during autumnal leaf senescence. *Tree Physiology* 21, 1–8. <https://doi.org/10.1093/treephys/21.1.1>
- Houtman, R.T., 2010. *Plantarium 2010*. Netherlands.

- Hussain, M.I., Muscolo, A., Farooq, M., Ahmad, W., 2019. Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. *Agricultural Water Management* 221, 462–476. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.014>
- Incrocci, L., Thompson, R.B., Fernandez-Fernandez, M.D., De Pascale, S., Pardossi, A., Stanghellini, C., Roupheal, Y., Gallardo, M., 2020. Irrigation management of European greenhouse vegetable crops. *Agricultural Water Management* 242, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106393>
- Inskeep, W.P., Bloom, P.R., 1985. Extinction Coefficients of Chlorophyll a and b in N,N-Dimethylformamide and 80% Acetone 1. *Plant Physiology* 77, 483–485. <https://doi.org/10.1104/pp.77.2.483>
- Jafari, S., Hashemi Garmdareh, S.E., 2019. Effects of salinity on morpho-physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). *Scientia Horticulturae* 257, 108731. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108731>
- Jin, S.-W., Rahim, M.A., Jung, H.-J., Afrin, K.S., Kim, H.-T., Park, J.-I., Kang, J.-G., Nou, I.-S., 2019. Abscisic acid and ethylene biosynthesis-related genes are associated with anthocyanin accumulation in purple ornamental cabbage (*Brassica oleracea* var. *acephala*). *Genome* 62, 513–526. <https://doi.org/10.1139/gen-2019-0038>
- Johnson, G.N., Young, A.J., Scholes, J.D., Horton, P., 1993. The dissipation of excess excitation energy in British plant species. *Plant, Cell & Environment* 16, 673–679. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1993.tb00485.x>
- Kang, S., Shi, W., Zhang, J., 2000. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research* 67, 207–214. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00095-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00095-2)
- Katerji, N., van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Mastrorilli, M., 2000. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agricultural Water Management* 43, 99–109. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00048-7)
- Kaya, C., Higgs, D., Sakar, E., 2002. Response of Two Leafy Vegetables Grown at High Salinity to Supplementary Potassium and Phosphorus During Different Growth Stages. *Journal of Plant Nutrition* 25, 2663–2676. <https://doi.org/10.1081/PLN-120015530>
- Krall, J.P., Edwards, G.E., 1992. Relationship between photosystem II activity and CO<sub>2</sub> fixation in leaves. *Physiologia Plantarum* 86, 180–187. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb01328.x>
- Lee, M.H., Cho, E.J., Wi, S.G., Bae, H., Kim, J.E., Cho, J.-Y., Lee, S., Kim, J.-H., Chung, B.Y., 2013. Divergences in morphological changes and antioxidant responses in salt-tolerant and salt-sensitive rice seedlings after salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 70, 325–335. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.047>
- Leinonen, I., Grant, O.M., Tagliavia, C.P.P., Chaves, M.M., Jones, H.G., 2006. Estimating stomatal conductance with thermal imagery. *Plant, Cell & Environment* 29, 1508–1518. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01528.x>
- Lim, S.J., Shin, M.N., Son, J.K., Song, J.D., Cho, K.H., Lee, S.H., Ryu, J.H., Cho, J.Y., 2017. Evaluation of soil pore-water salinity using a Decagon GS3 sensor in saline-alkali reclaimed tidal lands. *Computers and Electronics in Agriculture* 132, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.017>
- Maes, W.H., Steppe, K., 2012. Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *Journal of Experimental Botany* 63, 4671–4712. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers165>
- Masters, D., Benes, S. y Norman, H., 2007. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 234–248.
- Maxwell, K., Johnson, G.N., 2000. Chlorophyll fluorescence—a practical guide 10.
- Miralles, J., Martínez-Sánchez, J.J., Franco, J.A., Bañón, S., 2011. *Rhamnus alaternus* growth under four simulated shade environments: Morphological, anatomical and physiological responses. *Scientia Horticulturae* 127, 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.12.005>
- Miralles-Crespo, J., Martínez-López, J.A., Franco-Leemhuis, J.A., Bañón-Arias, S., 2011. Determining Freezing Injury from Changes in Chlorophyll Fluorescence in Potted Oleander Plants. *hortsc* 46, 895–900. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.895>
- Missouri Botanical Garden, 2022. *Euphorbia × martinii* “Ascot Rainbow” [WWW Document]. Missouri Botanical Garden. URL

<https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?taxonid=364042&isprofile=0&>  
(accessed 3.2.22).

- Montesano, F., van Iersel, M.W., 2007. Calcium Can Prevent Toxic Effects of Na<sup>+</sup> on Tomato Leaf Photosynthesis but Does Not Restore Growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132, 310–318. <https://doi.org/10.21273/JASHS.132.3.310>
- Montesano, F.F., van Iersel, M.W., Boari, F., Cantore, V., D'Amato, G., Parente, A., 2018. Sensor-based irrigation management of soilless basil using a new smart irrigation system: Effects of set-point on plant physiological responses and crop performance. *Agricultural Water Management* 203, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.019>
- Moradi, F., Ismail, A.M., 2007. Responses of Photosynthesis, Chlorophyll Fluorescence and ROS-Scavenging Systems to Salt Stress During Seedling and Reproductive Stages in Rice. *Ann Bot* 99, 1161–1173. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm052>
- Munns, R., Husain, S., Rivelli, A.R., James, R.A., Condon, A.G.T., Lindsay, M.P., Lagudah, E.S., Schachtman, D.P., Hare, R.A., 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits, in: *Progress in Plant Nutrition: Plenary Lectures of the XIV International Plant Nutrition Colloquium: Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems through Basic and Applied Research, Developments in Plant and Soil Sciences*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 93–105. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2789-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2789-1_7)
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Navarro, A., Bañón, S., Conejero, W., Sánchez-Blanco, M.J., 2008. Ornamental characters, ion accumulation and water status in *Arbutus unedo* seedlings irrigated with saline water and subsequent relief and transplanting. *Environmental and Experimental Botany* 62, 364–370. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.10.010>
- Niu, G., Cabrera, R.I., 2010. Growth and Physiological Responses of Landscape Plants to Saline Water Irrigation: A Review. *horts* 45, 1605–1609. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.11.1605>
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L.-S., 2014. Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science* 5.
- Pan, J., Peng, F., Xue, X., You, Q., Zhang, W., Wang, T., Huang, C., 2019. The Growth Promotion of Two Salt-Tolerant Plant Groups with PGPR Inoculation: A Meta-Analysis. *Sustainability* 11, 378. <https://doi.org/10.3390/su11020378>
- Papadopoulos, I., Rendig, V.V., 1983. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. *Plant Soil* 73, 47–57. <https://doi.org/10.1007/BF02197756>
- Parida, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60, 324–349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- Passioura, J.B., 2010. Plant–Water Relations, in: *ELS*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0001288.pub2>
- Percival, G.C., 2005. The use of chlorophyll fluorescence to identify chemical and environmental stress in leaf tissue of three oak (*Quercus*) species. *Journal of Arboriculture* 13, 215–227.
- Pérez-Molina, J.P., Picoli, E.A. de T., Oliveira, L.A., Silva, B.T., de Souza, G.A., Rufino, J.L. dos S., Pereira, A.A., Ribeiro, M. de F., Malvicini, G.L., Turello, L., D'Alessandro, S.C., Sakiyama, N.S., Ferreira, W.P.M., 2021. Treasured exceptions: Association of morphoanatomical leaf traits with cup quality of *Coffea arabica* L. cv. “Catuaí.” *Food Research International* 141, 110118. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110118>
- Rahi, T.S., Singh, B., 2011. Salinity tolerance in *Chrysanthemum morifolium*. *Journal of Applied Horticulture* 13, 30–36.
- Rosa, L., Chiarelli, D.D., Rulli, M.C., Dell'Angelo, J., D'Odorico, P., 2020. Global agricultural economic water scarcity. *Science Advances* 6. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz6031>
- Sabra, A., Daayf, F., Renault, S., 2012. Differential physiological and biochemical responses of three *Echinacea* species to salinity stress. *Scientia Horticulturae* 135, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.024>
- Sánchez-Blanco, M.J., Morales, M.A., Torrecillas, A., Alarcón, J.J., 1998. Diurnal and seasonal osmotic potential changes in *Lotus creticus creticus* plants grown under saline stress. *Plant Science* 136, 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(98\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00072-7)

- Scholberg, J.M.S., Locascio, S.J., 1999. Growth Response of Snap Bean and Tomato as Affected by Salinity and Irrigation Method. *HortScience* 34, 259–264. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.34.2.259>
- Shabala, L., Mackay, A., Tian, Y., Jacobsen, S.-E., Zhou, D., Shabala, S., 2012. Oxidative stress protection and stomatal patterning as components of salinity tolerance mechanism in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Physiologia Plantarum* 146, 26–38. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01599.x>
- Shu, S., Yuan, L.-Y., Guo, S.-R., Sun, J., Yuan, Y.-H., 2013. Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in *Cucumis sativus* L. under salt stress. *Plant Physiol Biochem* 63, 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.11.028>
- Singh, K.P., Raju, D.V.S., Namita, N., Janakiram, T., 2014. Determination of genetic variation for vegetative and floral traits in African marigold (*Tagetes erecta*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 84, 1057–1062.
- Sirault, X.R.R., James, R.A., Furbank, R.T., 2009. A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography. *Funct Plant Biol* 36, 970–977. <https://doi.org/10.1071/FP09182>
- Thomas, J.R., Langdale, G.W., 1980. Ionic Balance in Coastal Bermudagrass Influenced by Nitrogen Fertilization and Soil Salinity. *Agronomy Journal* 72, 449–452. <https://doi.org/10.2134/agronj1980.000219620072000300010x>
- Thompson, R., Delcour, I., 2018. Chapter 11. Fertigation management – Nutrient management and salinity, in: Thompson, Rodney, Delcour, I., Berckmoes, E., Stavridou, E. (Eds.), *The Fertigation Bible*.
- Urrestarazu, M., 2013. Infrared thermography used to diagnose the effects of salinity in a soilless culture. *Quantitative InfraRed Thermography Journal* 10, 1–8. <https://doi.org/10.1080/17686733.2013.763471>
- Valdés, R., Miralles, J., Ochoa, J., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón Arias, S., 2012. Saline reclaimed wastewater can be used to produce potted weeping fig (*Ficus benjamina* L.) with minimal effects on plant quality. *Span J Agric Res* 10, 1167. <https://doi.org/10.5424/sjar/2012104-2989>
- Valdés, R., Ochoa, J., Franco, J.A., Sánchez-Blanco, M.J., Bañón, S., 2015a. Saline irrigation scheduling for potted geranium based on soil electrical conductivity and moisture sensors. *Agricultural Water Management* 149, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.003>
- Valdés, R., Ochoa, J., Sánchez-Blanco, M.J., Franco, J.A., Bañón, S., 2015b. Irrigation Volume and the Number of Emitters per Pot Affect Root Growth and Saline Ion Contents in Weeping Fig. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 4, 356–364. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.040>
- Veatch-Blohm, M.E., Malinowski, M., Keefer, D., 2012. Leaf water status, osmotic adjustment and carbon assimilation in colored calla lilies in response to saline irrigation. *Scientia Horticulturae* 144, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.036>
- Veatch-Blohm, M.E., Sawch, D., Elia, N., Pinciotti, D., 2014. Salinity Tolerance of Three Commonly Planted Narcissus Cultivars. *HortScience* 49, 1158–1164. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.9.1158>
- Wang, Y., Li, L., Sun, Y., Dai, X., 2019. Relative Salt Tolerance of Seven Japanese Spirea Cultivars. *HortTechnology* 29, 367–373. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04280-19>
- Wheeler, W., Thomas, P., Van Iersel, M., Chappell, M., 2018. Implementation of Sensor-based Automated Irrigation in Commercial Floriculture Production: A Case Study. *HortTechnology* 28, 719–727. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04114-18>
- Wu, S., Sun, Y., Niu, G., 2016. Morphological and Physiological Responses of Nine Ornamental Species to Saline Irrigation Water. *horts* 51, 285–290. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.3.285>
- Zhang, G., Cui, X., Niu, J., Ma, F., Li, P., 2021. Visible light regulates anthocyanin synthesis via malate dehydrogenases and the ethylene signaling pathway in plum (*Prunus salicina* L.). *Physiologia Plantarum* 172, 1739–1749. <https://doi.org/10.1111/pp1.13383>
- Zhao, Z., Li, T., Cheng, Y., Wang, F., Zhao, X., 2021. Morphological and metabolic responses of four *Iris germanica* cultivars under salinity stress. *Scientia Horticulturae* 281, 109960. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109960>