

EVALUACIÓN DE DISTINTOS NIVELES DE HUMEDAD DEL SUELO Y AGUA SALINA SOBRE LA DINÁMICA RADICAL DE PLANTAS DE MIRTO EN UNA FORMACIÓN EN SETO

J. Ochoa¹, R. Valdés¹, J. Miralles¹, M.J. Sánchez Blanco^{2,3} y S. Bañón^{1,3}

¹Departamento Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48 30203 Cartagena. e-mail: jesus.ochoa@upct.es, web: www.upct.es

²Departamento de Riego, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura-CSIC, Murcia, Campus Universitario de Murcia 30100, Murcia. e-mail: quechu@cebas.csic.es, web: www.cebas-csic.es.

³Unidad Asociada de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas, CEBAS-Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.

RESUMEN. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación de distintos niveles de humedad del suelo y del riego salino sobre la dinámica radical de plantas de mirto en una formación en seto. Los tratamientos consistieron en el mantenimiento de unos niveles determinados de contenido volumétrico del agua del suelo, mediante sondas EC5 colocadas a 15 y 30 cm de profundidad y conectadas a un programador de riego automatizado. Se fijaron 3 niveles de contenido volumétrico de agua del suelo (θ 0.28, 0.26 y 0.24 m³ m⁻³), y se utilizó agua salina de 3 dS m⁻¹. El tratamiento control consistió en el riego con agua no salina, procedente del trasvase Tajo-Segura a un contenido volumétrico de agua del suelo de 0.28. Los resultados mostraron el mantenimiento del esquema de riego dentro del intervalo de agua disponible fijado para cada nivel de humedad. También, se observó una reducción significativa de la cantidad de agua aportada cuando se regó con agua salina respecto al riego con agua de buena calidad para el mismo nivel de humedad del suelo (0.28), posiblemente como resultado de un menor consumo de agua de las plantas bajo condiciones salinas. Las plantas crecieron en todos los tratamientos sin daños por salinidad, aunque el crecimiento aéreo y radical resultaron significativamente reducidos conforme el nivel de humedad fue menor.

ABSTRACT. The aim of this study was to assess different levels of volumetric soil water content and saline irrigation on the root dynamics of myrtle plants forming a hedge. Treatments consisted on maintaining specific levels of volumetric soil water content with EC5 probes placed at 15 and 30 cm depth and connected to a automated irrigation programmer. Three levels of volumetric soil water content (θ 0.28, 0.26 and 0.24 m³ m⁻³) were fixed, and saline water with 3 dS m⁻¹ was used for irrigation of plants. The control treatment consisted on irrigation with non-saline water, from the Tajo-Segura, at a volumetric soil water content of 0.28. The results showed the maintenance of the irrigation scheme within the range of available water set for each humidity level. Additionally, a significant reduction of the amount of water supplied when irrigated with saline water with respect to irrigation water of good quality to the same level of soil moisture (0.28), possibly as a result of reduced water consumption of the plants under saline conditions. The plants grew in all treatments without damage, but shoot and root growth were significantly reduced as the moisture

level was lower.

1.- Introducción

En zonas áridas en las que el agua de buena calidad es escasa, parece incrementarse la atención en la aplicación de aguas salinas o regeneradas con alto contenido de sales, principalmente para el riego de espacios verdes públicos. A pesar de ello, las aguas salinas o regeneradas con alto contenido salino siguen siendo aún un interesante recurso hídrico infrautilizado en los paisajes urbanos (Glenn et al., 2009) y han sido poco estudiados sus efectos sobre especies vegetales de paisaje, y mucho menos sobre elementos tan importantes del paisaje como lo es el seto (Todorova et al., 2004). La alta salinidad del agua de riego puede afectar negativamente el crecimiento y el aspecto de las plantas ornamentales, causando daños en las hojas, como quemaduras o clorosis, con la consiguiente pérdida de calidad de la planta (Bañón et al., 2011). Adicionalmente, las técnicas de manejo y conservación orientadas a favorecer el ahorro hídrico y a la vez a evitar o reducir su posible descarga a masas de agua subterráneas, donde pueden llegar a representar un posible riesgo ambiental (Muschal, 2006), constituyen otro de los aspectos esenciales poco considerados.

El estudio del sistema radical vegetal en condiciones de suelo es bastante difícil y complicado debido a las limitaciones de accesibilidad para su observación. Los minirizotrones, están basados en métodos consistentes en paredes transparentes que permiten la observación de las raíces en el suelo inalterado y de manera no destructiva (Taylor, 1987). Los minirizotrones han sido ampliamente utilizados para el estudio de la dinámica radical de especies herbáceas cultivadas (Machado et al., 2003; Muñoz-Romero et al., 2010; Ahmadi et al., 2011), así como para el estudio de algunas especies frutales (Bernier y Robitaille, 2004; Abrisqueta et al., 2008) y algunas especies de árboles forestales con distinto aprovechamiento (Mainiero y Kazda, 2006; Block et al., 2006; Gaul et al., 2008). Sin embargo, se ha prestado muy poca atención al estudio de la dinámica radical de especies formadoras del paisaje, y particularmente especies arbustivas de uso paisajístico en formaciones tan

representadas en el paisaje como lo es el seto.

Actualmente, es posible monitorizar la humedad del suelo por medio de sensores de contenido volumétrico, los cuales pueden ser utilizados en un sistema de riego localizado para conseguir una mayor precisión en el manejo del riego. El uso de sistemas de riego basados en dichos sensores de humedad del suelo permite mantener un estado hídrico dentro de los límites superior e inferior según el tipo de suelo y cultivo evitando excesos de riego y favoreciendo el ahorro hídrico (Zotarelli et al., 2009).

Por todo lo anterior, el objetivo del este estudio fue la evaluación de distintos niveles de humedad del suelo y riego salino, mediante sensores de humedad del suelo conectados a un programador, sobre la dinámica radical de plantas de mirto en una formación en seto.

2.- Materiales y métodos

El estudio fue realizado en la Estación Experimental Agroalimentaria de la Universidad Politécnica de Cartagena. El suelo fue franco arcilloso Haplic Calcisol (W.R.B., 2006) cuyas principales características químicas fueron: pH 8,65; $CE_{1:2}$ 0,35 $dS\ m^{-1}$; nitrógeno total 0,13%; fósforo asimilable 73,22 $mg\ kg^{-1}$; potasio asimilable 616,77 $mg\ kg^{-1}$; carbonato cálcico total 249 $g\ kg^{-1}$, capacidad de intercambio catiónico media-alta y contenido de materia orgánica bajo (1,15 %). La densidad aparente fue de 1,37 $g\ cm^{-3}$. El contenido volumétrico de agua del suelo a capacidad de campo y punto de marchitez fueron 0,34 y 0,18 $m^3\ m^{-3}$, respectivamente.

Se cultivaron plantas de *Mirtus communis* con un año de edad procedentes de bandeja forestal y alveolo de 300 ml. El trasplante tuvo lugar el 26 de abril de 2012, y consistió en la realización de setos dobles por cada parcela experimental, con una distancia entre plantas de 0,5 m en la línea y 1 m de separación entre líneas.

Todas las plantas fueron regadas por medio de un sistema de riego por goteo (1 gotero de 4 $l\ h^{-1}$ por planta). Tras el trasplante, y durante aproximadamente 1 mes las plantas fueron regadas con agua no salina al objeto de asegurar el buen arraigo de las plantas. Los tratamientos de riego comenzaron el 4 de junio y se mantuvieron hasta el 8 de octubre de 2012. Estos consistieron en un tratamiento control (T1) en el que las plantas fueron regadas con agua no salina (1,5 $dS\ m^{-1}$) manteniendo un contenido volumétrico de agua (θ) del suelo de 0,28 $m^3\ m^{-3}$, un riego con agua salina regado al mismo θ que el control (T2), un riego con agua salina regado a un θ de 0,26 (T3) y un riego salino regado a un θ de 0,24 (T4). En todos los tratamientos de riego salino se utilizó agua de 3 $dS\ m^{-1}$. Para alcanzar la CE de 3 $dS\ m^{-1}$ se utilizó cloruro de sodio. El riego fue controlado automáticamente según lo descrito por Nemali y van Iersel (2006), usando sondas EC-5 (Decagon Devices, Ltd., Pullman, WA), las cuales midieron el θ del suelo a 15 y 30 cm de profundidad en la franja entre goteros y a una distancia de 20 cm de la línea portagoteros. Las sondas fueron conectadas a un CR1000 (Campbell Scientific, Ltd, Logan, UT) programado para la recolección de datos y su

monitorización con el software Loggernet 3.4.1. El θ del suelo se obtuvo de las lecturas externas de las sondas (mV) usando una calibración propia ($\theta = 2,8987 * mV - 0,37623$; $r^2 = 0,74$) calculada según Valdés et al. (2012). El CR1000 activaba el riego cuando el θ a 15 cm de profundidad descendía de los niveles fijados (0,28; 0,26 y 0,24 $m^3\ m^{-3}$), produciéndose el evento de riego a la 8 h (T1 y T2), 10 h (T3) y 12 h (T4). En todos los tratamientos, se adicionó al agua de riego nitrato amónico, nitrato potásico y fosfato monopotásico y microelementos, lo que incrementó la CE del agua de riego en 0,5 $dS\ m^{-1}$. Para mantener el pH entre 6,5-7 se utilizó ácido nítrico al 54 %. Durante todo el experimento se midió el volumen, la CE y pH del agua de riego aportada a la parcela.

La ET_C del mirto fue estimada mediante el producto de la evapotranspiración de referencia diaria (ET_0), según Penman-Monteith (Allen et al., 1998), por el coeficiente de jardín (K_j) según Costello et al. (2000), y adaptando el valor de referencia conforme al porcentaje de la cubierta vegetal. La cantidad total de agua aplicada en todo el periodo experimental, medida con contadores de agua en línea, fue de 136, 106, 108 y 70 mm para T1, T2, T3 y T4, respectivamente.

Los tubos minirizotrones fueron instalados 1 mes antes de la plantación, en la cabeza del seto y a 0,25 m del primer gotero que riega el seto (0,5 m de la primera planta que forma el seto) (Fig. 1), en una de las filas de cada parcela o repetición (16 tubos en total). Los tubos estaban hechos de Plexiglas® transparente con una longitud total de 1,4 m y diámetros exterior e interior de 62,3 y 55,7 mm, respectivamente; cada tubo fue sellado para evitar filtraciones de luz a la zona radicular. Los tubos fueron instalados a 45° usando una máquina hidráulica de extracción de muestras adaptada (Box et al., 1989).

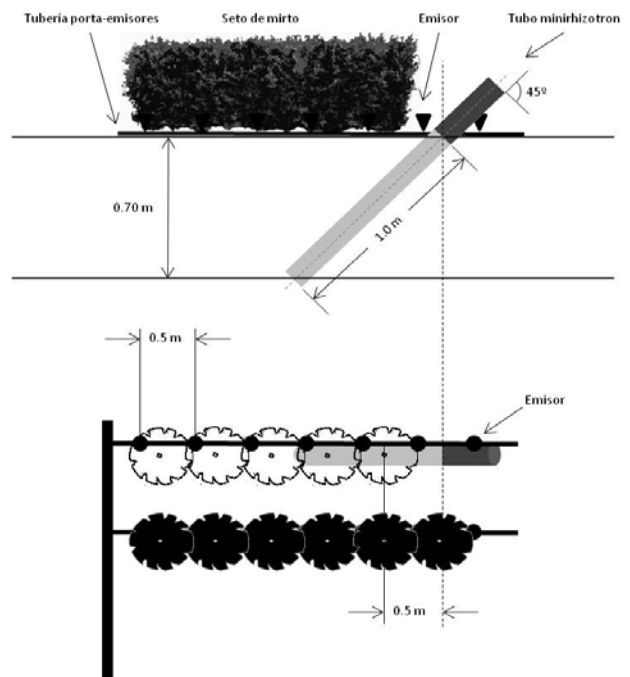


Fig 1. Instalación de los tubos minirizotrones y emisores la parcela experimental. Arriba vista en alzado, abajo vista en planta

La longitud total enterrada de cada tubo fue de 1,0 m, de modo que alcanzó una profundidad total de 0,70 m; el centro de cada tubo fue situado prácticamente debajo del emisor. La parte del tubo que sobresale de la superficie del suelo estaba cubierta con una lámina de plástico negro por el interior y material aislante blanco por el exterior para evitar que la luz entre en el tubo y el tubo se caliente, lo que favorecería la ausencia de raíces cerca del tubo en las capas superficiales del suelo.

Imágenes de las raíces (0,26 m x 0,20 m) fueron capturadas utilizando un escáner de raíces CI-600, que consistía en una cabeza lineal de escáner rotacional y un ordenador portátil. Imágenes en color escaneadas lineales y no distorsionadas capturadas con el sistema fueron analizadas utilizando el software de análisis de imágenes por ordenador CI-400CIAS proporcionado con el sistema (WinRHIZO Tron MF, Regent, Quebec, Canada). Las imágenes fueron realizadas el 20 de junio y el 03 de octubre de 2012, y cuatro fotografías por tratamiento fueron hechas. El número, longitud y diámetro de las raíces fueron determinados a 5 profundidades: 0–0,10; 0,10–0,25; 0,25–0,40; 0,40–0,55 y 0,55–0,70 m. La densidad de longitud de raíces (DLR), expresada como la longitud total de raíces por unidad volumen de suelo muestreado, fue calculado aplicando la fórmula de Upchurch y Ritchie (1983).

Para medir la CE y pH del suelo, se extrajeron muestras con una barrena (5 cm diámetro x 15 cm altura), al inicio del ensayo (15 de mayo) y al final (8 de octubre). Las muestras fueron obtenidas en el punto medio entre goteros (25 cm) y a 5 cm de la línea de plantación y en tres puntos equidistantes por cada repetición y a 0–15 y a 15–30 cm de profundidad. Las tres muestras de cada repetición fueron mezcladas en una única muestra. Todas las muestras de suelo fueron aireadas y pasadas por un tamiz de 1 mm de luz. Las medidas de CE y pH estuvieron basadas en el extracto 1:2 a 25°C, y fueron determinadas utilizando un conductímetro portátil ECTestr11 (Eutech Instruments Pte Ltd, Singapore) y un medidor de pH Oakton pHtestr 30 (Eutech Instruments Pte Ltd, Singapore, Singapore).

La cobertura vegetal y el índice de área foliar (LAI) fueron medidos al inicio del periodo experimental (4 de junio de 2012) y al final del mismo (8 de octubre de 2012). La cobertura vegetal consistió en la medida de la anchura de las plantas formadoras del seto en dos ejes perpendiculares para 6 plantas por repetición (24 plantas por tratamiento). El volumen de cobertura vegetal se obtuvo multiplicando la cobertura vegetal por la altura del seto. El índice de área foliar fue medido con un LAI-2200 (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA) acorde con el método establecido para formaciones vegetales en seto.

El análisis estadístico fue con un ANOVA simple (Statgraphics Plus 5.1). Las medias de los tratamientos fueron separadas con la Prueba de Rango Múltiple de LSD ($p \leq 0,05$).

3.- Resultados

Después de un periodo de 38 días tras el trasplante, la fase

de establecimiento de las plantas estuvo caracterizada por la aplicación de un volumen de riego total de 14,86 mm para todos los tratamientos, repartido en 6 eventos de riego. Tras el riego de establecimiento los tratamientos de riego y salinidad fueron iniciados. Los cambios en el θ del agua del suelo para las profundidades de 0–15 y 15–30 cm durante el periodo de estudio se muestran en la Fig. 2.

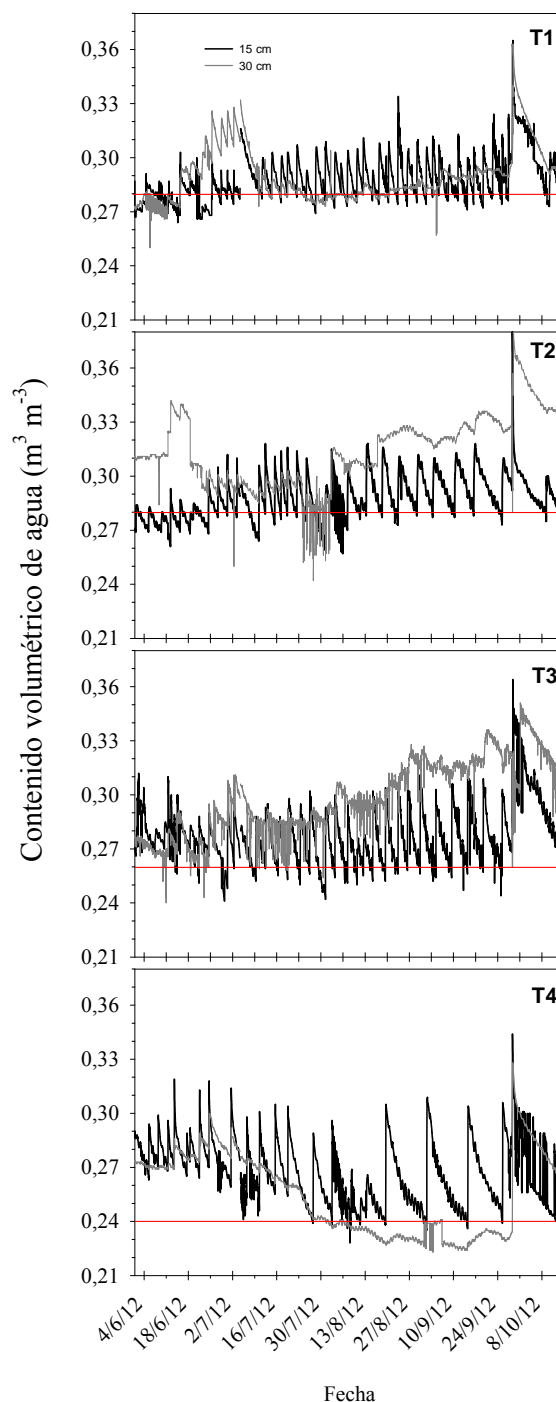


Fig. 2. Evolución del contenido volumétrico del agua en el suelo para el periodo experimental. Línea roja indica el límite inferior de contenido volumétrico de agua del suelo fijado para cada tratamiento

El θ del suelo en los 15 primeros centímetros se mantuvo a niveles muy próximos a los valores programados y a veces por debajo de los mismos como consecuencia del horario de riego. En el tratamiento T1 los riegos fueron más frecuentes porque el consumo de agua fue más rápido, lo que resultó en un escaso desplazamiento vertical del agua en el suelo y un escaso drenaje. El tratamiento T2 regó un 21,6 % menos que el control (T1), mientras T3 regó un 21,1 % menos que T1. Adicionalmente, T2 mostró un importante movimiento vertical del agua en el suelo y drenaje, monitorizado por la sonda colocada a 30 cm.

En cualquier caso, todos los tratamientos regados con agua salina redujeron significativamente el número de riegos en comparación con el control (T1). Particularmente, el tratamiento T4 (salino, θ de 0,24) aportó un 48,82% menos de agua que el T1. En T4 el θ del agua del suelo a 30 cm de profundidad descendió por debajo del nivel de humedad fijado en las sondas, lo que fue indicativo del nulo movimiento vertical del agua en el suelo y nulo drenaje.

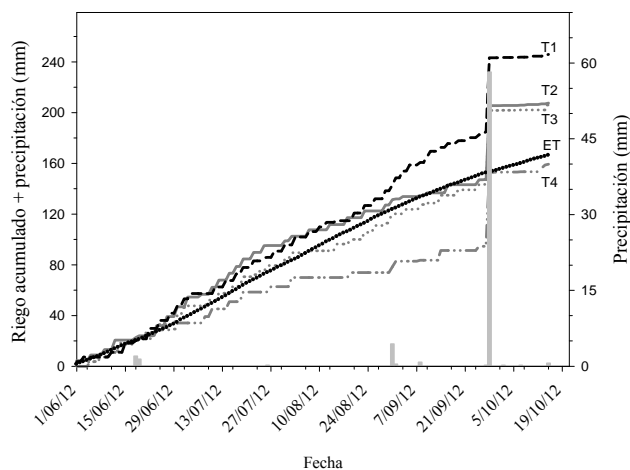


Fig. 3. Cantidad de riego acumulada, evapotranspiración estimada (ET) y precipitaciones (barras verticales) durante el periodo experimental

La ET acumulada para el periodo de estudio fue de 166,12 mm (Fig.3). Todos los tratamientos se regaron por encima de dicho valor, excepto T4 que recibió una cantidad de agua de riego inferior a la ETc.

La $CE_{1,2}$ del suelo se incrementó significativamente en todos los tratamientos respecto de los valores iniciales. Este incremento fue más acusado en los tratamientos de riego salino que en T1 (Tabla 1). La $CE_{1,2}$ del suelo se incrementó significativamente con la profundidad en todos los tratamientos.

La DLR se incrementó significativamente al final del periodo de estudio en todos los tratamientos (Fig. 4), sin embargo la distribución relativa de raíces en el perfil del suelo resultó significativamente diferente entre tratamientos de riego salino y riego control.

Tabla 1. Conductividad eléctrica del suelo ($CE_{1,2}$ $dS\ m^{-1}$) y pH al final del periodo experimental. Valores en filas seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes para $p \leq 0,05$, según el test LSD

Parámetro	Prof. (cm)	Tratamiento			
		T1	T2	T3	T4
$CE_{1,2}$ ($dS\ m^{-1}$)	0-20	0,38 a	0,50 b	0,47 b	0,47 b
	20-40	0,53 a	0,83 b	0,77 b	0,74 b
pH	0-20	7,82	8,25	8,24	8,34
	20-40	7,70	7,48	7,47	7,47

El crecimiento radical de T1 tuvo lugar especialmente a la profundidad de 0-0,25 m. En T2, las raíces se distribuyeron de manera más regular en el perfil del suelo, y ligeramente mayor DLR media que T1. La mayor DLR en T2 estuvo entre 0,10-0,25 m y entre 0,40-0,70 m, pero a 70 cm los valores de DLR fueron muy superiores al resto de tratamientos. En T3, el mayor crecimiento radical se presentó a la profundidad de 0,10-0,40 m. El crecimiento radical de T4 resultó bastante más reducido que en el resto de tratamientos, con una mayor DLR entre 0,25-0,40 m.

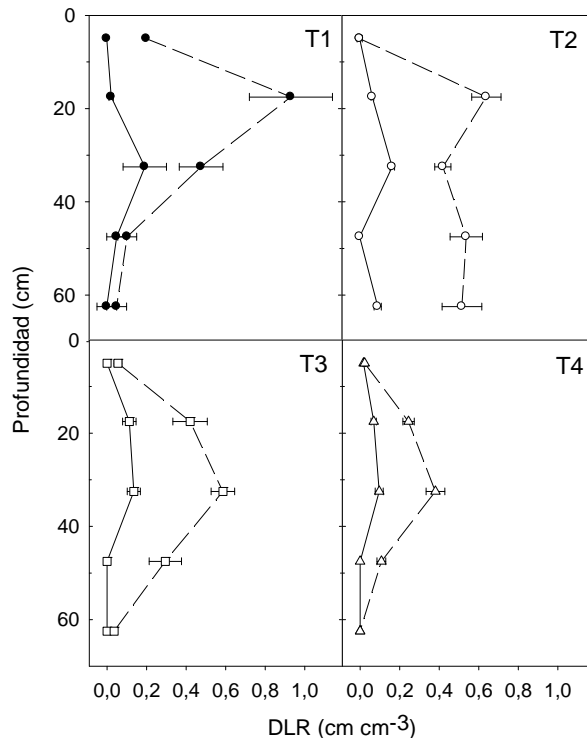


Fig. 4. Perfiles de Densidad de Longitud de Raíces (DLR) al inicio (línea continua) y al final (línea discontinua) del periodo experimental. Barras horizontales en los símbolos indican el error estándar de la media (n=4)

Los valores medios de longitud radical en el perfil de suelo (Fig.5) reveló que los tratamientos aplicados solo afectaron a las raíces más finas (< 0,5 mm), siendo los valores más bajos los del tratamiento T4 (θ 0,24, salino).

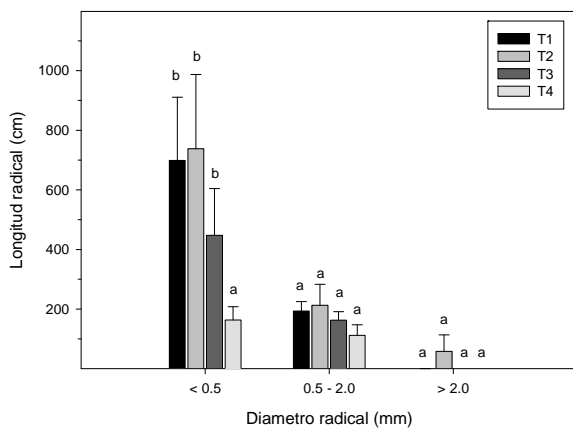


Fig. 5. Valores de longitud radical para cada categoría de diámetro de mirto en cada tratamiento al final del periodo experimental. Líneas verticales en las barras indican el error estándar de la media (n=4). En cada grupo de barras, letras diferentes indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$, según el test LSD

Todas las plantas incrementaron la cobertura vegetal, volumen de cobertura vegetal y LAI durante el periodo experimental (Tabla 2). Al final del periodo experimental, la cobertura vegetal de T4 fue un 51,35 % menor que la de T1, mientras el volumen de cobertura vegetal de T4 fue un 65,38 % menor que el de T1 y el LAI de T4 fue un 23,8 % menor que T1. Ninguno de los tratamientos presentó daños foliares por salinidad o por estrés hídrico.

Tabla 2. Características del crecimiento aéreo de las plantas de mirto al final del periodo experimental. Valores en columnas seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes para $p \leq 0,05$, según el test LSD

Tratamiento	Cobertura vegetal (m ²)	Volumen de la cobertura vegetal (m ³)	LAI
T1 (θ 0,28; control)	0,37 b	0,26 b	3,15 b
T2 (θ 0,28; salino)	0,27 ab	0,15 ab	2,96 ab
T3 (θ 0,26; salino)	0,27 ab	0,16 ab	2,82 ab
T4 (θ 0,24; salino)	0,18 a	0,09 a	2,40 a

4.- Discusión

El volumen de agua aplicada fue menor en los tratamientos salinos comparado con el control, por el estrés osmótico de la sal que dificulta la extracción de agua por las plantas (Bañón et al. 2005). Por ello, cuanto más estresante fue el tratamiento menos consumo de agua hubo, como ocurrió con T4 que regó un 48,82 % menos que el control, déficit excesivo se ve en la figura 2 (a 30 cm el nivel de humedad fue bajo). Por el contrario, en T2 y T3 se observó un importante aumento del θ del suelo a 30 cm (Fig. 2), probablemente asociado a un menor consumo de agua de las plantas bajo condiciones salinas. Maggio et al. (2004) observaron un incremento del contenido de agua del suelo regado bajo condiciones salinas asociado a un menor consumo hídrico en plantas de tomate. El aumento de la

humedad estuvo acompañado de un importante incremento de la $CE_{1;2}$ en todo el perfil, más acusado a la mayor profundidad. En T2 la CE se incrementó en algo más de un 40 % con respecto al valor inicial, mientras en T3 el incremento fue de aproximadamente el 30 % (Tabla 1). Wang et al. (2011) observaron un movimiento vertical de sales importante (drenaje) y una importante acumulación de sales en capas más profundas bajo condiciones de riego frecuente, a la vez que observaron un aumento de la CE del suelo conforme el potencial mátrico fue menor. En este experimento, la CE medida a 30 cm se incrementó al final del experimento en todos los tratamientos salinos, aunque lo hizo en menor medida conforme el umbral de θ del agua del suelo fue menor.

El riego con agua salina redujo considerablemente el crecimiento radical (reducción en DLR) en comparación con el control, haciéndolo de forma más acusada conforme el umbral de θ del suelo fue menor. La DLR total al final del experimento resultó un 33,9 y un 65,2 % menor que el control en T3 y T4, respectivamente, localizándose el sistema radical del mirto a mayor profundidad para los tratamientos de menor θ del suelo (Fig. 4).

Los perfiles del suelo representados en la Fig. 4, muestran una ausencia importante de raíces en la capa más superficial del suelo. Este resultado está en consonancia con los obtenidos por diversos autores (Upchurch y Ritchie, 1983; Franco y Abrisqueta, 1997), lo que indica una probable subestimación de las medidas de distribución radical en la capa más superficial (0-0,10 m de profundidad) del suelo que podría explicarse por la posición relativa del tubo minirizotron con relación al emisor y la parte central de la planta, que en este caso estuvo a 0,50 m (Fig. 1). Adicionalmente, también pudo contribuir la rápida desecación de los primeros centímetros del suelo entre riegos.

La mayor proporción del sistema radical del mirto correspondió a las raíces con diámetro inferior a 0,5 mm (Fig. 5), las cuales son las más activas en la absorción de agua y nutrientes. Un mayor porcentaje de raíces finas, capaces de penetrar en los poros del suelo más pequeños, presumiblemente optimiza las capacidades de exploración del sistema de raíces en su conjunto, y puede tener un papel importante en la supervivencia de las plantas frente a factores edáficos adversos (Koike et al. 2003). En general, la proporción de raíces más finas disminuyó conforme lo hizo el umbral de θ del suelo que activaba el riego. Similares resultados fueron observados por Gaul et al. (2008) en abeto rojo sometido a diferentes niveles de sequía.

Por otro lado, ha sido observado que el estrés hídrico estimula el crecimiento radical a mayor profundidad (Burkart et al. 2004). No fue esto lo observado en este experimento, siendo el tratamiento salino, que mantuvo el mayor nivel de humedad (T2), el que propició el mayor crecimiento radical. Esto sugiere que la reducción del θ del suelo tuvo mayor influencia sobre el crecimiento radical que la salinidad, probablemente debido al manejo del riego mediante sensores de humedad y a la

tolerancia del mirto al riego con agua salina. Lo anterior se refuerza por la ausencia de síntomas de daño por salinidad a nivel foliar.

Los efectos del estrés hídrico y salino sobre la reducción del crecimiento aéreo de diversas especies ornamentales es bien conocido (Cheng et al. 2009; Franco et al. 2010). En este experimento, los valores de cobertura vegetal y LAI de T4 fueron los menores (Tabla 2), mientras las plantas de T1 tendieron a crecer más e incrementaron en mayor proporción los parámetros medidos.

5.- Conclusiones

El uso de sondas de humedad del suelo conectadas a un autómata ha permitido un control efectivo de los niveles de humedad fijados en el experimento, lo que demuestra su efectividad en el control de la humedad del suelo, permitiendo un mayor control del riego y, por tanto, una mayor eficiencia del mismo para unas condiciones determinadas.

Adicionalmente, los mayores valores de DLR fueron registrados en las plantas regadas a mayor θ del agua del suelo, tanto con agua de buena calidad como bajo condiciones de riego salino, y en comparación con el resto de tratamientos. Bajo estas condiciones se recomienda regar según las premisas del tratamiento T2 dado que ha mostrado un cierto lavado de sales y un mayor crecimiento radical en todo el perfil del suelo, presentando las plantas condiciones similares de crecimiento y LAI que el control, aunque desde el punto de vista ambiental podría presentar algunas dudas.

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

6.- Bibliografía

Abrisqueta, J.M., O. Mounzer, S. Álvarez, W. Conejero, Y. García-Orellana, L.M. Tapia, J. Vera, I. Abrisqueta, y M.C. Ruiz-Sánchez, 2008. Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. *Agric. Water Manage.* 95, 959-967.

Ahmadi, S.H., F. Plauborg, M.N. Andersen, A.R. Sepaskhah, C.R. Jensen, y S. Hansen, 2011. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Root distribution. *Agric. Water Manage.* 98, 1280-1290.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, y M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. In: *Irrigation and Drainage*, vol. 56, FAO, Roma.

Bañón, S., J.A. Fernández, J. Ochoa, y M.J. Sánchez-Blanco, 2005. Paclbutrazol as an aid to reduce some effects of salt stress in oleander seedlings. *Europ. J. Hort. Sci.* 70, 43-49.

Bañón S., J. Miralles, J.A. Franco, J. Ochoa y M.J. Sánchez-Blanco. 2011. Effects of diluted and pure treated wastewater on the growth, physiological status and visual quality of potted lantana and polygala plants. *Sci Hort.* 129, 869-876.

Bernier, P.Y., y G. Robitaille, 2004. A plane intersect methods for estimating fine root productivity of trees from minirhizotrons images. *Plant Soil.* 265, 165-173.

Block, R.M.A., K.C.J. Van Rees y J.D. Knight, 2006. A review of fine root dynamics in *Populus* plantations. *Agroforestry Systems.* 67, 73-84.

Box, J.E., A.J.M. Smucker, y J.T. Ritchie, , 1989. Minirhizotron installation techniques for investigating root responses to drought and oxygen stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 115-118.

Burkart, S., R. Manderscheid, y H.J. Weigel, 2004. Interactive effects of elevated atmospheric CO₂-concentrations and plant available soil water content on canopy evapotranspiration and conductance of spring wheat. *Eur. J. Agron.* 21, 401-417.

Chen, M., Y. Kang, S. Wan, y S. Liu., 2009. Drip irrigation with saline water for oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agric. Water Manage.* 96, 1766-1772.

Costello, L.R., N.P. Matheny, y J.R. Clark, 2000. *A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California*. University of California Cooperative Extension, California Department of Water Resources, USA.

Franco, J.A., y J.M. Abrisqueta. 1997. A comparison between minirhizotron and soil coring methods of estimating root distribution in young almond trees under trickle irrigation. *J. Hort. Sci.* 72, 797-805.

Franco, J.A., J. J. Martínez-Sánchez, J. A. Fernández, S. Bañón, J. Ochoa, y M. J. Vicente. 2010. Nursery pre-conditioning of plants for revegetation, gardening and landscaping in semi-arid environments *Technology and Knowledge Transfer e-Bulletin.* 2, 1-5.

Gaul, D., D. Hertel, W. Borken, E. Matzner, y C. Leuschner, 2008. Effects of experimental drought on the fine root system of mature Norway spruce. *Forest Ecol. Manage.* 256, 1151-1159.

Glenn, E.P., C. McKeon, V. Gerhart, P.L. Nagler, F. Jordan, y J. Artiola. 2009. Deficit irrigation of a landscape halophyte for reuse of saline waste water in a desert city. *Landscape and Urban Planning.* 89, 57-64.

Koike, T., M. Kitao, A.M. Qureshi, y Y. Matsuura, 2003. Growth characteristics of root-shoot relations of three birch seedlings raised under different water regimes. *Plant Soil.* 255, 303-310.

Machado, R.M.A., M. Rosario, y G. Oliveira. 2003. Comparison of tomato root distribution by minirhizotron and destructive sampling. *Plant Soil.* 255, 375-385.

Maggio, A., S. De Pascale, G. Angelino, C. Ruggiero, y G. Barbieri, 2004. Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. *Europ. J. Agronomy.* 21, 149-159.

Mainiero, R., y M. Kazda. 2006. Depth-related fine root dynamics of *Fagus sylvatica* during exceptional drought. *Forest Ecol. Manage.* 237, 135-142.

Muñoz-Romero, V., J. Benítez-Vega, L. López-Bellido, y R. J. López-Bellido, 2010. Monitoring wheat root development in a rainfed vertisol: Tillage effect. *Eur. J. Agron.* 33, 182-187.

Muschal, M., 2006. Assessment of risk to aquatic biota from elevated salinity—a case study from the Hunter River, Australia. *J. Environ. Manage.* 79, 266-278.

Nemali, K.S., y M.W. van Iersel, 2006. An automated system for controlling drought stress and irrigation in potted plants. *Sci. Hort.* 110, 292-297.

Taylor, H.M., 1987. Minirhizotron Observation Tubes: Methods and Applications for Measuring Rhizosphere Dynamics. Spec. Publ. 50. American Society of Agronomy, Madison, WI, 143.

Todorova, A., S. Asakawa, y T. Aikoh., 2004. Preferences for and attitudes towards street flowers and trees in Sapporo, Japan. *Landscape and Urban Planning.* 69, 403-416.

Upchurch, D.R. y J.T. Ritchie, 1983. Root observation using a video recording system in mini-rhizotrons. *Agron. J.* 75, 1009-1015.

Valdés, R., J. Miralles, J., Ochoa, J.A. Franco, M.J. Sánchez-Blanco, y S. Bañón. 2012. Prueba de sondas para medir conductividad y humedad del sustrato en maceta en condiciones salinas. XI Simposio Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas. Actas. 222-225.

Wang, R., Y. Kang, S. Wan, W. Hu, S. Liu, y S. Liu, 2011. Salt distribution and the growth of cotton under different drip irrigation regimes in a saline area. *Agric. Water Manage.* (en prensa).

W.R.B. 2006. World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports, 103. FAO, Rome.

Zotarelli, L., M.D. Dukes, y R. Muñoz-Carpena. 2009. Soil water distribution and nitrate leaching of drip irrigation controlled by soil moisture sensors, en: *Actas de las VII Jornadas sobre Investigación de la Zona no Saturada del Suelo*, Barcelona.