

Evaluación del uso de agua marina desalinizada con diferentes concentraciones de boro para el riego en cítricos. Resultados preliminares.

Tasa, M.¹, Cámara-Campos, E.², de Paz, J.M.¹, Peiró, E.¹, Visconti, F.^{1,3}, Badal, E.², Martínez-Gimeno, M.A.^{1,2}, Bonet, L.², Pérez-Pérez, J.G.^{1*}

¹ Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias CV-315, km 10.7, Moncada, Valencia. (CDAS-IVIA) *perez_juaperb@gva.es

²Servicio de Tecnología del Riego, IVIA (STR-IVIA)

³Departamento de Ecología, Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE-CSIC), CV-315, km 10.7, Moncada, Valencia.

Resumen: En las principales zonas cítricas, donde predomina el clima semiárido, la disponibilidad de agua para el riego representa el principal factor limitante de la producción y rentabilidad del cultivo. En este contexto, el agua marina desalada (AMD) se posiciona como un recurso hídrico estratégico que puede contribuir a la sostenibilidad de la agricultura de regadío. Sin embargo, desde el punto de vista de su uso para riego, el AMD, a pesar de su baja salinidad ($EC_{25} \approx 0.5 \text{ dS m}^{-1}$), presenta diversos problemas agronómicos asociados a desequilibrios, ya que ciertos elementos presentan concentraciones muy reducidas mientras que elementos como el boro (B^{3+}) se mantienen en concentraciones relativamente elevadas ($[B^{3+}] \approx 1,5 \text{ mg L}^{-1}$ –RD 3/2023) que podrían producir daños por toxicidad en cultivos sensibles como los cítricos. El objetivo principal del estudio fue la evaluación de los efectos fisiológicos y agronómicos a corto plazo del riego con AMD con diferente concentración de B^{3+} en una plantación joven de naranja 'Navelina N7' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) durante un ciclo de cultivo (2021-2022). Para el riego se han utilizado dos fuentes de agua: Agua convencional procedente de pozo (Pozo, $[B^{3+}] = 0,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), apta para el riego de cítricos y AMD con 2 niveles de B^{3+} diferentes: AMD1 ($[B^{3+}] = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) y AMD2 ($[B^{3+}] = 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Los tres tratamientos de riego; Pozo, AMD1 y AMD2 fueron regados con el mismo volumen de agua (100% ETc). Se analizaron parámetros del estado hídrico de la planta, la acumulación de B^{3+} en el suelo y hojas y el desarrollo vegetativo. Los primeros resultados mostraron que el riego con AMD supuso un aumento de la concentración de B^{3+} en el suelo, principalmente en la zona radicular. Esta acumulación de boro en el suelo fue mayor en árboles regados con la concentración de B^{3+} más elevada (AMD2). A nivel de planta, el contenido de B^{3+} foliar solo aumentó en plantas del tratamiento AMD2. En términos fisiológicos, la baja CE del AMD ($CE = 0,7 \text{ dS m}^{-1}$) no generó alteraciones en el estado hídrico del cultivo, mostrando un desarrollo vegetativo similar a los árboles regados con agua de pozo ($CE = 1,3 \text{ dS m}^{-1}$). En base a estos resultados, el riego continuado con AMD no generó alteraciones fisiológicas significativas a corto plazo. Por lo tanto, los resultados obtenidos respaldan la viabilidad del riego con AMD en el corto plazo. Sin embargo, los resultados obtenidos en este ensayo son preliminares, y el estudio deberá extenderse durante un periodo más prolongado para evaluar los efectos de la utilización de AMD en cítricos a largo plazo.

Palabras clave: aguas no convencionales, desalinización, relaciones hídricas, composición mineral en hoja.

Evaluation of the use of desalinated seawater with different boron concentrations for citrus irrigation. Preliminary results.

Tasa, M.¹, Cámara-Campos, E.², de Paz, J.M.¹, Peiró, E.¹, Visconti, F.^{1,3}, Badal, E.², Martínez-Gimeno, M.A.^{1,2}, Bonet, L.², Pérez-Pérez, J.G.^{1*}

¹ Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias CV-315, km 10.7, Moncada, Valencia. (CDAS-IVIA) *perez_juaperb@gva.es

²Servicio de Tecnología del Riego, IVIA (STR-IVIA)

³Departamento de Ecología, Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE-CSIC), CV-315, km 10.7, Moncada, Valencia.

Abstract: In the main citrus-growing regions, a semi-arid climate prevails, characterized by scarce and irregular rainfall. In this context, desalinated seawater (DSW) emerges as a strategic water resource in regions facing issues of scarcity and/or poor water quality. It can contribute to the sustainability of irrigated agriculture. However, when considering its use for irrigation, despite its low salinity ($EC_{25} \approx 0.5 \text{ dS m}^{-1}$), DSW presents various agronomic challenges associated with nutritional imbalances. Certain elements have very low concentrations, while elements like boron (B) maintain relatively high concentrations ($[B^{3+}] \approx 1.5 \text{ mg L}^{-1}$), which could lead to toxicity damage in sensitive crops such as citrus. The main objective of the study was to evaluate the short-term physiological and agronomic effects of irrigation with DSW containing different B concentrations on a young 'Navelina N7' orange plantation (*Citrus sinensis* L. Osbeck) during one crop cycle (2021-2022). Two water sources were used for irrigation: conventional well water (Well, $[B^{3+}] = 0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), suitable for citrus irrigation, and DSW with two different B levels: DSW1 ($[B^{3+}] = 0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and DSW2 ($[B^{3+}] = 1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). All three irrigation treatments – Well, DSW1, and DSW2 – received the same volume of water (100% ETC). Parameters related to the plant's water status, $[B^{3+}]$ accumulation in the soil and leaves, and vegetative development were analysed. Preliminary results indicated that irrigation with DSW resulted in increased B concentration in the soil, particularly in the root zone. This B^{3+} accumulation in the soil was more pronounced in trees irrigated with the higher B^{3+} concentration (DSW2). At the plant level, leaf B^{3+} content only increased in plants from the DSW2 treatment. Physiologically, the low EC of DSW ($EC = 0.7 \text{ dS m}^{-1}$) did not disrupt the crop's water status, showing a vegetative development similar to trees irrigated with well water ($EC = 1.3 \text{ dS m}^{-1}$). Based on these results, continuous irrigation with DSW did not induce significant short-term physiological alterations. Therefore, the findings support the feasibility of DSW irrigation in the short term. Nevertheless, the results from this trial are preliminary, and the study should be extended over a longer period to assess the long-term effects of DSW use in citrus cultivation.

Keywords: non-conventional water, desalination, water relations, leaf mineral composition

1. Introducción

En las principales zonas de cultivo de cítricos españolas, las precipitaciones son escasas e irregulares, por lo que la disponibilidad de agua para el riego representa un factor limitante de la producción y rentabilidad del cultivo. El agua marina desalinizada (AMD) se postula como una fuente alternativa de agua para el riego, ya que es un recurso hídrico aparentemente “inagotable” y no sujeto a variaciones climáticas, capaz de contribuir a la sostenibilidad de la agricultura de regadío.

Sin embargo, desde el punto de vista de su uso para riego, el AMD, a pesar de su baja salinidad, puede presentar diversos problemas agronómicos asociados a su composición química. Las membranas de ósmosis inversa utilizadas en los procesos de desalación eliminan minerales como el Ca^{+2} y Mg^{+2} , que son nutrientes esenciales para el cultivo, y en cambio, mientras otros elementos como el Na^{+} y Cl^{-} , todavía se encuentran en altas cantidades y pueden ser nocivos para la planta. Además, estas aguas se caracterizan por la elevada concentración de boro (B^{3+}) [1]. En la actualidad, en España no existe una regulación que condicione la calidad de las AMD destinadas al riego. Su calidad estuvo regulada durante años por RD 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, limitando el nivel máximo de B^{3+} en $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, y el que rige el presente estudio. No obstante, el RD 3/2023, aumenta este límite a $1,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

El uso de aguas con alto contenido en B^{3+} para riego puede producir graves daños por toxicidad en cultivos sensibles como los cítricos [2]. A pesar de ser un micronutriente esencial para el crecimiento normal de las plantas, el B^{3+} presenta un umbral entre deficiencia y toxicidad muy estrecho. En las especies de cítricos el umbral de toxicidad se ha establecido entre $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (limonero) y $0,75 \text{ mg L}^{-1}$ (naranja y mandarina) [3]. Cuando se alcanza una acumulación de B^{3+} en hojas elevada, se desencadenan alteraciones en diversos procesos fisiológicos. En las hojas con una alta concentración de B^{3+} , se desencadenan alteraciones en diversos procesos fisiológicos.[4]. Estos incluyen una disminución en la tasa fotosintética y la conductancia estomática, una reducción en el crecimiento vegetativo pudiendo llevar a reducir la productividad de los cultivos

La particularidad de este tipo de aguas con alto contenido en B^{3+} para el riego hace necesaria la investigación con el fin de avanzar en el conocimiento científico y minimizar los posibles riesgos asociados. Por lo tanto, objetivo de este estudio es la evaluación del comportamiento en campo de árboles jóvenes de naranja ‘Navelina’ regados con AMD con dos concentraciones diferentes de B^{3+} durante un ciclo de cultivo sobre parámetros de intercambio de gases, relaciones hídricas y parámetros agronómicos.

2. Materiales y métodos (Trabajo de innovación: descripción de la innovación)

El estudio se ha llevado durante la campaña 2021-2022 en una parcela experimental del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) de 1,1 ha, plantada en mayo de 2020. El material vegetal utilizado es la variedad de naranja ‘Navelina IVIA 7’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck) injertada sobre citrange ‘Carrizo’ (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata*), con un marco de plantación de $5\text{m} \times 3\text{m}$. Para el riego se han utilizado dos fuentes de agua de diferente procedencia: agua de pozo

convencional (Pozo, $[B^{3+}] = 0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), y AMD con 2 niveles de B^{3+} : AMD1 ($[B^{3+}] = 0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y AMD2 ($[B^{3+}] = 1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). En los tratamientos con AMD se partió de agua osmotizada obtenida de la planta de ósmosis del IVIA, y se remineralizó de acuerdo con los valores medios obtenidos durante 2021-2022 del análisis del agua producto de las 5 plantas (Oropesa, Moncofar, Sagunto, Mutxamel y Torrevieja) desalinizadoras pertenecientes a ACUAMED de la Comunidad Valenciana (Tabla 1). Para la aplicación de los diferentes tratamientos de riego se dispone de un cabezal de riego equipado con dos tanques “pulmón” de 50.000 L cada uno para almacenar agua de cada fuente de agua. Para fabricar el AMD, el cabezal de riego dispone de un sistema de depósitos y bombas para la remineralización y ajuste de la dosis de B^{3+} .

Al inicio de la plantación, el sistema de riego consistió en 2 líneas de goteo con 2 goteros de $2 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ por árbol. En mayo de 2022, el número de goteros se incrementó a 6 goteros por árbol para cubrir la mayor demanda hídrica del cultivo. La dosis de riego se calculó semanalmente en base a la estimación de la evapotranspiración del cultivo ($ET_c = ET_o \times K_c$) utilizando los datos de la estación agroclimática del IVIA (<http://riegos.ivia.es>). Además, se aplicó un coeficiente de reducción (K_r) para árboles de cítricos jóvenes. Los tres tratamientos de riego; Pozo, AMD1 y AMD2 fueron regados con el mismo volumen de agua (100% ET_c). Respecto al plan de fertilización, se han aplicado $50 \text{ UF}\cdot\text{ha}^{-1}$ N, $12 \text{ UF}\cdot\text{ha}^{-1}$ P_2O_5 , $19 \text{ UF}\cdot\text{ha}^{-1}$ K_2O , $28 \text{ UF}\cdot\text{ha}^{-1}$ MgO y $18 \text{ UF}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaO en todos los tratamientos de riego. Para ello, en el AMD el plan de fertilización ha sido implementado con unidades fertilizantes de Ca^{+2} y Mg^{+2} para corregir las posibles deficiencias nutricionales.

Para el control de la composición de las aguas de riego, se realizaron muestreos periódicos, analizando la conductividad eléctrica (CE) y pH mediante un analizador multiparamétrico de calidad del agua (mod. HANNA HI-9828), la concentración de B^{3+} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{+2} , Na^+ se determinó mediante ICP-OES (Varian ICP-OES Vista MPX) y la concentración de Cl^- fue medida utilizando un clorurímetro de titulación de iones de plata (Sherwood MKII chloride Analyzer 926). A nivel de planta, se determinaron parámetros fisiológicos del estado hídrico del cultivo, realizando medidas en hojas adultas del potencial hídrico de tallo a mediodía solar (Ψ_{tallo}) mediante una cámara de presión y los parámetros de intercambio de gases (LI-6400, USA). Además, se determinó la concentración de B^{+3} en el suelo y a la concentración de B^{+3} , Na^+ y Cl^- en hojas. También se ha evaluado el desarrollo vegetativo a través de medidas del diámetro de tronco.

Se ha aplicado un diseño experimental con bloques al azar (18 árboles/bloque y 3 bloques por tratamiento) con tres tratamientos de riego (Pozo, AMD1 y AMD2). Los datos obtenidos se sometieron a un ANOVA simple mediante Statgraphics Centurión XVIII (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA, USA). En aquellas situaciones en que se observaron diferencias significativas, se realizó una prueba de comparación múltiple de Duncan, con un nivel de significancia al 5% ($p \leq 0.05$).

3. Resultados y discusión

La composición química media del AMD producida en las plantas desalinizadoras en la CV presentó diferentes características químicas respecto al uso de fuentes de agua convencional como el agua de pozo (Tabla 1).

Tabla 1: Composición de las aguas de riego de los tratamientos Control, AMD1 y AMD2 y del promedio de las desaladoras de Oropesa, Moncofa, Sagunto, Muchamiel y Torrevieja durante el 2021-2022

	CE (dS m ⁻¹)	pH	Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	Na ⁺ (mg L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	B ³⁺ (mg L ⁻¹)
Control	1,29±0,17	7,6±0,1	115,9±55,1	50,2±15,8	200,2±35,1	103,7±76,3	142,7±31,5	0,04±0,06
AMD1	0,78±0,06	7,2±0,1	24,7±9,5	14,4±10,4	41,1±18,3	80,1±16,5	156,1±47,2	0,58±0,03
AMD2	0,72±0,08	7,2±0,1	28,3±9,5	14,4±15,0	41,7±16,7	83,0±28,0	161,5±78,3	1,12±0,10
DesaladorasC.V.	0,60±0,11	8,3±0,2	15,8±1,0	3,3±0,9	17,1±1,4	87,3±13,8	164,0±25,2	0,65±0,11

Una de las principales características que diferencian ambas fuentes de agua es el contenido de sales, mostrando las AMDs un nivel de sales más bajo, con unos valores medios de CE $\approx 0,7$ dS m⁻¹, respecto al agua de pozo utilizada en este estudio (1,3 dS m⁻¹) (Tabla 1). El uso de aguas de baja salinidad para el riego puede generar una menor acumulación de sales en el suelo, permitiéndole a la planta una mayor disponibilidad de agua en el suelo. En el ensayo de campo, el riego continuado con AMD durante un ciclo de cultivo no mostró cambios en las relaciones hídricas del cultivo (Fig. 1), con valores de Ψ_{tallo} similares a los obtenidos en los árboles regados con agua de pozo (Fig. 1), siendo esta respuesta similar a la observada por otros autores [5], [6].

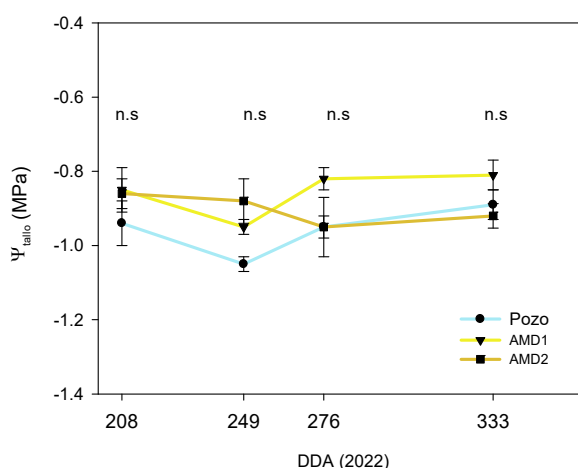


Figura 1: Evolución potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo} , MPa) en los tratamientos de riego Pozo, AMD1 y AMD2. Dentro de cada fecha, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos., * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos, n.s indica sin diferencias estadísticamente significativas.

Otros de los aspectos importantes a considerar con el uso de AMD es el posible riesgo de toxicidad generado por los niveles altos de Cl⁻ y Na⁺. En este sentido, el contenido de Cl⁻ y Na⁺ medio en las AMDs mostró niveles similares al agua convencional de referencia (pozo) (Tabla 1). En ambas fuentes de agua, los niveles alcanzados no han superado en ninguno de los casos el umbral de toxicidad establecido por [3]. A nivel de planta, como era de esperar, los niveles de Cl⁻ y Na⁺ fueron similares en todos los tratamientos, no presentando diferencias entre aguas procedentes de pozo y AMD (Fig 2.). En ambos casos, los niveles encontrados en hoja no alcanzaron niveles de toxicidad [2]. En cuanto al contenido de los iones divalentes Ca²⁺, Mg²⁺ y SO₄²⁻, los valores medios en las AMD de la CV presentaron valores un 70-75% inferiores al agua de pozo (Tabla 1). En base a estos valores, para el riego de los cítricos, fue necesario reajustar el plan de fertilización para evitar carencias de Ca²⁺ y Mg²⁺. En este caso de estudio, y para compensar la baja concentración de Ca²⁺ y Mg²⁺ en el

AMD, aplicó una dosis extra de fertilizantes $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ y $18 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ para suplir estas carencias. Con ello se ha conseguido que los niveles foliares de Ca^{2+} y Mg^{2+} hayan mostrado valores similares entre los árboles regados con agua de pozo y AMD (Fig. 3), manteniendo niveles óptimos durante el periodo de estudio [7]. El reajuste del plan de fertilización supuso un sobrecoste, desde un punto de vista nutricional

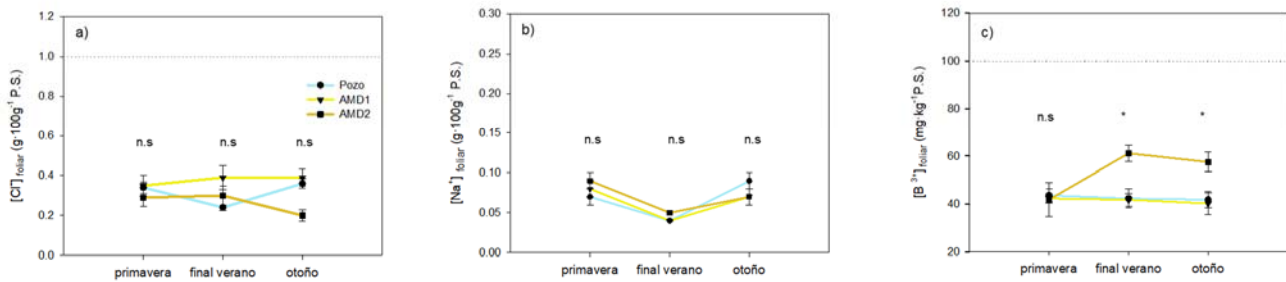


Figura 2: Concentración de Cl^- (a), Na^+ (b) y B^{3+} (c) foliar de los diferentes tratamientos Pozo, AMD1 y AMD2 en tres momentos del año, primavera, final del verano y otoño. Línea de puntos superior indica umbral de toxicidad y línea de puntos inferior umbral de carencia. * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos, n.s indica sin diferencias estadísticamente significativas.

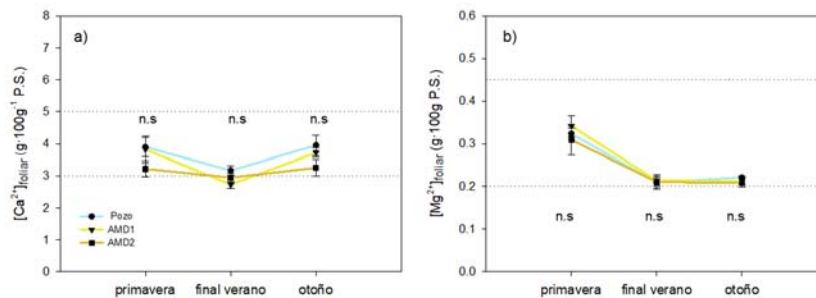


Figura 3: Concentración de Ca^{2+} (a) y Mg^{2+} (b) foliar de los diferentes tratamientos Pozo, AMD1 y AMD2 en tres momentos del año, primavera, final del verano y otoño. Línea de puntos superior indica umbral de toxicidad y línea de puntos inferior umbral de carencia, * denota diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos, n.s indica sin diferencias estadísticamente significativas.

A diferencia del agua convencional de pozo, la principal preocupación en el riego con agua AMD radica en el elevado contenido de B^{3+} . [1] En el caso de las AMDs de la C.V., durante la campaña 2021-2022, la concentración de B^{3+} media en el AMD de las diferentes plantas desalinizadoras osciló entre 0.5 y 1 mg L^{-1} (Tabla 1). Aunque los niveles de B^{3+} en las AMDs cumplieron la normativa vigente en ese periodo (RD 140/2003), en la mayoría de los casos han superado el umbral de toxicidad establecido para el agua de riego en cítricos (0.5 mg L^{-1}) [8]. Por este motivo, en el ensayo de campo se replicaron dos niveles diferentes de B en los tratamientos de AMD (AMD1 [B^{3+}] = 0.5 y AMD2 [B^{3+}] = 1 mg L^{-1}). Durante el primer ciclo de cultivo, el riego con AMD ha supuesto un aumento de la acumulación de B^{3+} en el suelo, principalmente en las zonas más superficiales del bulbo húmedo, donde se concentran la mayor parte de raíces (Fig. 4). Esta mayor acumulación fue proporcional al contenido de B^{3+} en el agua de riego, siendo significativamente mayor en el tratamiento de mayor dosis de B^{3+} (AMD2). La mayor acumulación de B^{3+} en el suelo

solo afectó significativamente a los árboles del tratamiento AMD2, que mostraron una acumulación de B^{3+} en hoja significativamente más elevadas (Fig 5) Este efecto fue más evidente a partir de final del verano, debido a que en verano las necesidades hídricas del cultivo son mayores que durante el resto del año, por lo que, al regar con mayor frecuencia, el B^{3+} se acumula en mayor medida durante este periodo.

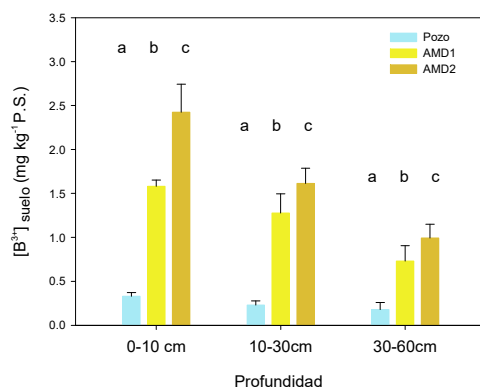


Figura 4: Concentración de B^{3+} en el suelo ($mg \cdot kg^{-1}$ P.S.) a tres profundidades (0-10 cm, 10-30 cm y 30-60 cm) de los diferentes tratamientos Pozo, AMD1 y AMD2 al final del periodo de ensayo. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos.

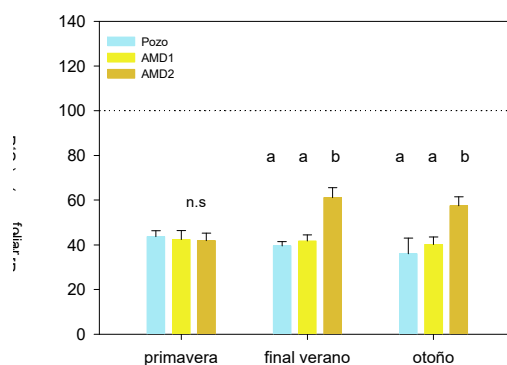


Figura 5: Concentración de B^{3+} foliar ($mg \cdot g^{-1}$ P.S.) de los diferentes tratamientos Pozo, AMD1 y AMD2 en tres momentos del año, primavera, final del verano y otoño. Línea de puntos indica umbral de toxicidad. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos, n.s. indica sin diferencias estadísticamente significativas

A nivel fisiológico, el mayor contenido foliar de B^{3+} en árboles del tratamiento AMD2 no generó cambios en los valores de fotosíntesis (ACO_2), conductancia estomática (g_s) y en la transpiración (E) (Fig.6). Esta respuesta demuestra que no se han alcanzado niveles de B^{3+} en hoja que puedan generar daños por toxicidad. Esta respuesta contrasta con la observada en otros estudios en maceta, donde la acumulación de B^{3+} en hojas por encima del umbral de toxicidad causó una disminución en los parámetros de intercambio de gases [4]. Además, al riego con AMD no alteró el desarrollo vegetativo, presentando el mismo diámetro de tronco y el mismo crecimiento (Fig. 7). Por lo tanto,

durante el ciclo de cultivo estudiado, el riego con AMD con alto contenido en B^{3+} no ha alcanzado niveles de B^{3+} en hojas lo suficientemente altos para causar daños por fitotoxicidad en las hojas.

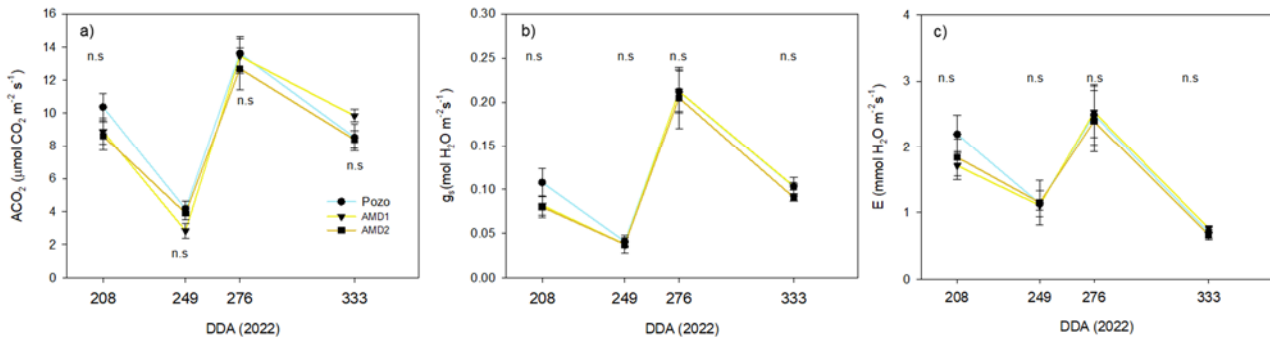


Figura 6: Evolución de la fotosíntesis neta (a, ACO₂, μmol CO₂·m⁻²·s⁻¹), conductancia estomática al vapor de agua (b, g_s, mol H₂O·m⁻²·s⁻¹) y transpiración (c, E, mmol H₂O·m⁻²·s⁻¹) para los tratamientos Control, AMD1 y AMD2. Dentro de cada fecha, * denota diferencias estadísticamente significativas (p < 0,05) entre los tratamientos, n.s. indica sin diferencias estadísticamente significativas.

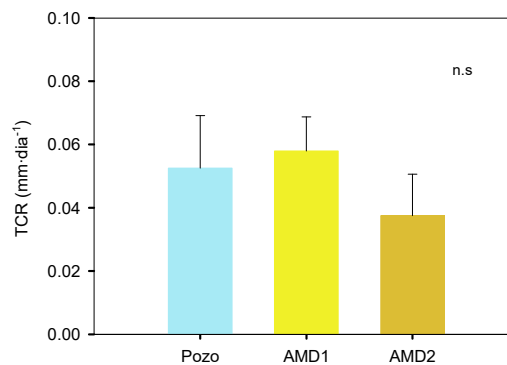


Figura 1: Tasa de crecimiento relativo del tronco en los tratamientos Control, AMD1 y AMD2 durante la campaña 2022. * denota diferencias estadísticamente significativas (p < 0,05) entre los tratamientos, n.s. indica sin diferencias estadísticamente significativas.

4. Conclusiones

En base a estos resultados, el riego con AMD durante un ciclo de cultivo no ha provocado alteraciones fisiológicas en árboles jóvenes de naranjo, respaldando la viabilidad del uso para riego en el corto plazo de AMD. No obstante, los resultados obtenidos en este ensayo son preliminares, este ensayo debe extenderse durante un periodo más prolongado para comprobar los posibles efectos del riego en AMD en el medio-largo plazo. Además, se debe tener en cuenta la diferente calidad del agua AMD para ajustar los programas de fertirrigación.

En resumen, el riego con agua marina desalada en el cultivo de cítricos puede ser una solución viable en regiones con limitaciones hídricas, capaz de asegurar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de la agricultura de regadío. Se requiere realizar investigaciones adicionales para garantizar el éxito a largo plazo y minimizar los impactos negativos en el suelo y la planta.

5. Agradecimientos

Estudio financiado por el proyecto DESALICitrus (PID2019-104893RR-I00, MCIN/AEI/10.13039/501100011033) por la Unión Europea. M. Tasa disfruta de un contrato predoctoral (ACIF/2021/413). E. Cámara disfruta del contrato EDGIID/2021/225 de la Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital (GVA).

Referencias

1. Martínez-Álvarez V, Martín-Gorriz B, Soto-García M. 2016. Seawater desalination for crop irrigation - A review of current experiences and revealed key issues. *Desalination*, 381:58–70.
2. Maas, E. V. (1990). 1990. Crop salt tolerance. *Agricultural Salinity Assessment and Management*. Am. Soc. Civil Eng., New York, 262-304.
3. Grattan, S. R., Díaz, F. J., Pedrero, F., Vivaldi, G. A. 2015. Assessing the suitability of saline wastewaters for irrigation of Citrus spp.: Emphasis on boron and specific-ion interactions. *Agricultural Water Management*, 157, 48-58.
4. Simón-Grao, S., Nieves, M., Martínez-Nicolás, J.J., Cámara-Zapata, J.M., Alfosea-Simón, M., García-Sánchez, F. 2018. Response of three citrus genotypes used as rootstocks grown under boron excess conditions. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 159, 1
5. Maestre-Valero, J. F., Martínez-Álvarez, V., Jódar-Conesa, F. J., Acosta, J. A., Martín-Gorriz, B., Robles, J. M., Pérez-Pérez, J.G., Navarro, J. M. (2020). Short-term response of young mandarin trees to desalinated seawater irrigation. *Water*, 12(1), 159.
6. Navarro, J. M., Antolinos, V., Robles, J. M., Botía, P. 2022. Citrus irrigation with desalinated seawater under a climate change scenario. *Frontiers in Plant Science*, 13, 909083.
7. Quiñones, A., Martínez-Alcántara, B., Primo-Millo, E., & Legaz, F. (2010). Abonado de los cítricos. *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*, 193-204.
8. Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1985). *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma, 174 p.
9. Papadakis, I.E., Dimassi, K.N., Bosabalidis, A.M., Therios, I.N., Patakas, A., Giannakoula, A. 2004. Boron toxicity in 'Clementine' mandarin plants grafted on two rootstocks. *Plant Sci.* 166: 539-547.