

PA-01-2023

Comunicación científico-técnica

Efectos fisiológicos, agronómicos y económicos del riego con agua marina desalinizada en un cultivo de pomelo

Autores: A. Imbernón-Mulero¹, V. Martínez-Alvarez², J.F. Maestre-Valero³, B. Gallego-Elvira⁴, S. Ben-Abdallah⁵, J. Navarro⁶; J.M. Robles⁷; P. Botía⁸

¹ Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT); alberto.imbernon@edu.upct.es

² Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT); victoriano.Martinez@upct.es

³ Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT); josef.maestre@upct.es

⁴ Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT); belen.gallego@upct.es

⁵ Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT); saker.benabdallah@upct.es

⁶ Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA); josefam.navarro2@carm.es

⁷ Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA); juan.robles@carm.es

⁸ Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA); pablo.botia@carm.es

Resumen: La escasez de recursos hídricos para regadío en zonas áridas y semiáridas como el sureste español ha fomentado el uso de recursos hídricos no convencionales, entre los cuales el agua marina desalinizada (AMD) se ha convertido en el más prometedor para paliar la sobredemanda de agua. Sin embargo, las ventajas e inconvenientes de su uso complementario en el riego agrícola deben ser consideradas. Este estudio evaluó la respuesta agrofisiológica de un cultivo de pomelo al riego con AMD durante tres años consecutivos. Se observaron diferencias significativas al comparar la calidad del AMD con los recursos convencionales de agua dulce disponibles, mayoritariamente procedentes del Trasvase Tajo-Segura. Además, el estudio determinó el posible riesgo de sodicidad del suelo, las diferencias no significativas en las relaciones hídricas foliares y la elevada acumulación de boro en las hojas derivado del riego con AMD, comparado con el uso de recursos hídricos superficiales convencionales. Finalmente, una evaluación económica permitió analizar la rentabilidad de implantar total o parcialmente este recurso en el riego, considerando el coste del agua y del fertilizante y los ingresos obtenidos por la venta de la fruta. Los resultados proporcionan orientación para el uso y la gestión del AMD en zonas con escasez de recursos hídricos.

Palabras clave: Recursos no convencionales, calidad del agua, alcalinización del suelo, boro, evaluación económica.

1. Introducción

En las últimas décadas, la disponibilidad de agua se ha visto reducida principalmente por el incremento de la demanda de alimentos y los efectos del cambio climático. Esta generalizada escasez de recursos hídricos puede poner en riesgo la sostenibilidad de la agricultura de regadío, especialmente en zonas áridas y semiáridas, y, por tanto, la seguridad alimentaria y el crecimiento económico de una región [1]. En este contexto, la agricultura de regadío requiere no solo una modernización tecnológica sino también la exploración de nuevas fuentes de agua que permitan sostener su demanda y actual sobreuso [2].

Los recursos hídricos no convencionales como el agua regenerada y el agua marina desalinizada (AMD) se han convertido en una prometedora opción para asegurar la sostenibilidad del riego en regiones con escasez hídrica. En concreto, el sureste de España ha apostado desde 2005 por la producción de AMD como medio para impulsar el desarrollo socioeconómico y la producción de alimentos y aliviar la presión sobre otros recursos hídricos superficiales y subterráneos. Adicionalmente, y como consecuencia de su reducida salinidad, el AMD puede mejorar la producción agrícola cuando se utiliza para complementar o reemplazar otros recursos hídricos marginales de baja calidad. A pesar de estas notables ventajas, el AMD presenta principalmente tres inconvenientes [3]:

- (i) la producción de AMD requiere un considerable consumo energético que da lugar a un coste de suministro de agua elevado respecto a otros recursos hídricos (entre 0,6 y 1,1 €/m³).
- (ii) el AMD posee una composición química peculiar, con una baja concentración de nutrientes esenciales (calcio, magnesio y sulfato) que obliga a los agricultores a adaptar los programas de fertilización para prevenir una disminución de la productividad.
- (iii) el AMD suele presentar elevadas concentraciones de cloro, sodio y especialmente boro (B), que puede provocar efectos fitotóxicos y reducir la productividad en cultivos especialmente sensibles; por ejemplo, los cultivos leñosos presentan bajos umbrales de fitotoxicidad por boro (0,5-0,7 mg/L en el agua de riego), mientras que los hortícolas son mucho más tolerantes (1,0-4,0 mg/L) [4].

En España, la concentración de boro en el AMD empleada en el riego se ha situado de forma habitual en torno a 1 mg/L, límite establecido por extensión del máximo valor permitido en AMD destinada al consumo humano (Real Decreto 140/2003). Sin embargo, la actual normativa vigente (Real Decreto 3/2023) permite producir AMD con una concentración de boro mayor (1,5 mg/L), lo que puede perjudicar aún más la continuidad de los cultivos más sensibles.

Las consecuencias económicas de la implementación de AMD para el riego agrícola se han evaluado previamente [3]. Sin embargo, los estudios del impacto fisiológico y agronómico de su uso en el riego son realmente escasos. Maestre-Valero et al. [5] estudió el efecto a corto plazo del riego con AMD en un cultivo de mandarina, mostrando efectos no significativos relacionados con la respuesta fitotóxica al boro. Estos resultados fueron atribuidos a la corta edad de los árboles (4-5 años). Recientemente, Vera et al. [6] ha mostrado efectos relevantes al regar durante tres años árboles de limón y albaricoque con AMD. Ambos cultivos leñosos acumularon elevadas concen-

traciones de boro en las hojas y disminuyeron sensiblemente su fotosíntesis y conductancia estomática. Por otro lado, también han observado como este recurso es capaz de incrementar la presencia del microbioma del suelo, un aspecto de gran interés en zonas con suelos empobrecidos y deteriorados. No obstante, Navarro et al. [7] han demostrado, en condiciones controladas en cámara, la existencia de diferentes mecanismos dependientes del rizoma que permiten a los cítricos resistir los efectos del riego con AMD, los cuales parecen estar relacionados con características tales como la edad del cultivo, la concentración de los sólidos totales disueltos y de la temperatura del agua de riego, entre otros. No obstante, este hecho también dificulta las comparaciones entre diferentes estudios. La respuesta a largo plazo de los cultivos hortícolas y leñosos al riego con AMD aún no ha sido evaluada.

En este contexto, este estudio muestra los primeros resultados de la evaluación fisiológica, agronómica y económica del riego con AMD de un cultivo de pomelo durante tres años consecutivos, centrándose en los efectos sobre las concentraciones de minerales en las hojas, el crecimiento vegetativo, la salinidad y sodicidad del suelo, y la productividad del cultivo. Adicionalmente, se realizó una evaluación económica enfocada principalmente en el tipo de agua de riego y el consumo de fertilizantes.

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño experimental

El ensayo experimental se realizó en una finca comercial localizada en Torre Pacheco, Murcia, entre junio de 2019 y diciembre de 2022. El área se caracteriza por un clima semiárido, con veranos secos e inviernos suaves, con precipitaciones y evapotranspiraciones medias de 300 y 1400 mm, respectivamente. El cultivo consistió en 0,28 ha de pomelo (144 árboles de *Citrus x paradisi*, var. Río Rojo) injertados en un patrón de *Citrus macrophylla* de 5 años de edad al inicio del ensayo. La especie fue escogida por el gran peso del sector cítrico en el sureste español, así como por su especial sensibilidad a los excesos de boro.

En el estudio se emplearon dos fuentes de agua: (i) AMD proveniente de la planta desaladora de Escombreras (Cartagena, España) y (ii) agua proveniente del Trasvase Tajo-Segura (CR). Ambos recursos fueron empleados de forma independiente y como mezcla a igual proporción (AM = 50% AMD + 50% CR). Además, con el fin de evaluar los efectos de concentraciones elevadas, medias y bajas de boro en el agua de riego, un sistema de ósmosis inversa (OI) descrito en Imbernón-Mulero et al. [8] fue empleado para reducir el B^{3+} en el AMD hasta valores entre 0,2 y 0,4 mg/L (AMD-B). De esta forma, las 0,28 ha se dividieron en cuatro bloques de 36 árboles, asignando a cada uno un tratamiento de riego (AMD, AM, CR o AMD-B). La Tabla 1 muestra su composición química.

La dosis de riego se calculó en base a la demanda evapotranspirativa del cultivo (ET_c), a partir de los datos de evapotranspiración de referencia (ET_0) obtenidos por una estación meteorológica cercana a la finca, perteneciente al Servicio de Información Agraria de la Región de Murcia (SIAM; estación CA-42). Por otro lado, todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de fertilizantes, aplicados mediante fertirriego (N, P_2O_5 ; K_2O , CaO, MgO, Cu, Fe; Tabla 2). Esto permitió analizar los posibles efectos de la implementación del AMD en el riego, los cuales podrían verse ensombrecidos si se ajusta el aporte nutritivo en base a la composición química de cada tipo de agua. Durante el ensayo experi-

mental se emplearon fertilizantes complejos (N-P-K + Ca + Mg), aplicados de forma habitual por los agricultores de la zona: Novatec Fluid (7,5-2,5-6,8; 4,6-2,3-6,9), Brotolim primavera (10-2-5 + 3,5 CaO + 1,5 MgO), Brotolim engorde (8-2-6 + 2,5 CaO), Brotolim eco (8,2-0-0) SoluBlack H-87 (1,2-0,9-8 + 3,6 CaO + 0,2 MgO), quelato de hierro y bioestimulantes con micronutrientes, entre otros.

Tabla 1. Precio y composición físico-química de los recursos hídricos empleados durante el ensayo experimental.

Agua de riego	Precio (€/m ³)	pH	CE (dS/m)	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	B ³⁺
				(mg/L)								
AMD	0,60-1,10	8,3 ± 0,2	1,0 ± 0,1	315,9 ± 63,7	2,6 ± 1,0	2,9 ± 2,0	0,00	8,2 ± 0,8	35,1 ± 12,4	12,5 ± 8,0	190,2 ± 38,5	0,92 ± 0,17
AM	0,48-0,73	8,0 ± 0,1	1,2 ± 0,2	261,5 ± 14,9	4,1 ± 0,9	2,9 ± 2,0	0,00	7,2 ± 0,8	49,4 ± 15,1	20,8 ± 8,9	154,5 ± 18,6	0,69 ± 0,19
CR	0,35	7,7 ± 0,2	1,4 ± 0,2	187,0 ± 38,5	5,4 ± 1,7	3,8 ± 1,2	0,00	6,4 ± 2,4	63,5 ± 12,8	32,2 ± 9,2	117,9 ± 27,9	0,44 ± 0,13
AMD-B	0,93-1,43	9,5 ± 0,1	0,2 ± 0,1	7,5 ± 6,7	1,8 ± 1,3	1,7 ± 0,9	0,00	1,8 ± 1,8	4,9 ± 5,2	4,4 ± 2,7	2,0 ± 2,0	0,32 ± 0,08

Tabla 2. Requerimientos nutricionales de la especie *Citrus x paradisi* (var. Rio Rojo).

Año	N (kg/ha y año)	P ₂ O ₅ (kg/ha y año)	K ₂ O (kg/ha y año)	CaO (kg/ha y año)	MgO (kg/ha y año)	Cu (kg/ha y año)	Fe (kg/ha y año)
2019*	22,64	7,31	21,30	0,00	0,00	0,00	0,49
2020	41,71	7,32	18,66	12,06	5,17	0,00	0,41
2021	46,46	1,87	20,91	14,71	6,57	0,39	1,51
2022	144,92	17,04	79,55	41,66	9,16	0,64	2,08

*Nótese que en 2019 solo fueron considerados los requerimientos desde junio hasta diciembre.

2.2. Determinaciones fisiológicas, agronómicas y económicas

Las diferentes aguas de riego se caracterizaron mensualmente desde el inicio del ensayo experimental, mediante la determinación del pH, la concentración de aniones y cationes (Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ y SO₄²⁻; mg/L), el contenido de microelementos (B, Mn, Zn, Cu y Fe; µg/L), la conductividad eléctrica (CE_a; dS/m) y la relación de absorción de sodio (RAS_a; meq/L). Por otro lado, se tomaron tres muestras de suelo de cada tratamiento de riego a 0-25 cm y 25-50 cm de profundidad y a 30 cm del gotero, tres veces al año (febrero, junio y octubre). De cada muestra de suelo se determinó el pH, el contenido de iones solubles (Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ y SO₄²⁻), el contenido de microelementos (B, Mn, Zn, Cu y Fe), la CE_e y la RAS_e.

Para el estudio fisiológico se estudiaron fundamentalmente los siguientes parámetros: (i) el potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}) y potencial hídrico de la hoja madura (Ψ_{hoja}) y el potencial osmótico de la

hoja de brotación de primavera (II); (ii) el contenido nutrientes en hojas maduras y de brotación de primavera, especialmente boro; y (iii) la cosecha y calidad de fruta, evaluando el número de frutos por árbol, el rendimiento en kg totales por árbol y el peso de los frutos en cada tratamiento de riego.

Finalmente, se realizó un análisis económico mediante el cálculo de la diferencia entre los ingresos de cada campaña derivados de la venta de la fruta (0,27 €/kg) y el coste de fertirriego, que incluye el coste del agua de riego requerida para cada tratamiento y el coste de fertilizantes; Resultado económico (RE).

3. Resultados y discusión

3.1. Evaluación agronómica y fisiológica

La Tabla 1 muestra la calidad de las aguas de riego empleadas, entre las que se observaron notables diferencias. Especialmente destacable fue la disminución de la CE_a a medida que aumentó la proporción de AMD, mínima en el caso del tratamiento AMD-B debido al proceso de OI. No obstante, este último tratamiento también presentó el valor de pH más elevado (pH = 9,5) relacionado con la adición de hidróxido sódico (NaOH) durante el proceso de OI, necesaria para disminuir la concentración de boro por debajo de 0,4 mg/L a presiones de trabajo relativamente bajas (≈ 9 bar). Considerando la relación entre la CE_a y la RAS_a , los resultados indicaron que el riego con AMD, AM y AMD-B podría derivar en un cierto riesgo de sodicidad en el suelo, el cual podría hasta cierto punto corregirse mediante la adición de Ca^{2+} y Mg^{2+} para desplazar al Na^+ del complejo de intercambio del suelo. Dicha adición puede ser de hecho necesaria, puesto que los tratamientos AMD y AMD-B presentan escasas concentraciones de ambos iones, debido de nuevo a los procesos de OI a nivel de finca y en planta desaladora. En general, los resultados indican que la monitorización del agua y suelo es crucial para evitar posibles problemas derivados del Na^+ y Cl^- (colapso estructural, erosión o compactación, entre otros), especialmente si emplea AMD como único recurso de riego [5].

Uno de los aspectos de mayor trascendencia es el posible efecto fitotóxico del boro. La concentración de boro en el suelo fue superior en el caso del AMD, a consecuencia de la mayor presencia de dicho elemento en el agua de riego (Tabla 1). Posteriormente, a medida que la proporción de AMD bruta fue disminuyendo, menor fue la concentración de boro (AM > CR > AMD-B) tanto en el agua de riego como en el suelo durante los tres años consecutivos (datos no mostrados).

Esta tendencia también se observó en la medición de boro en hojas viejas y de brotación de primavera (Figura 1a). En 2019 y 2020 la concentración de boro en las hojas viejas aumentó significativamente en verano (200-250 mg/kg) y comenzó a disminuir de forma progresiva en otoño (< 180 mg/kg). El gran incremento de boro pudo estar relacionado con el aumento del aporte de agua en los meses de mayor demanda evapotranspirativa y con la mayor presencia de dicho elemento en el agua de riego. Por otro lado, su disminución en los meses de otoño se relacionó con la reducción del riego y la generación de nueva masa foliar por la brotación de finales de verano, provocando una menor presencia de boro en promedio en las hojas más viejas [9].

En las hojas de brotación de primavera, su concentración aumentó desde 50 mg/kg a mediados de primavera hasta 200 mg/kg a principios de invierno (Figura 1b), pero varió de forma significativa en

función del tratamiento de riego, acorde a la concentración de cada tipo de agua. No obstante, y a pesar de estas elevadas concentraciones, los árboles no mostraron signos de fitotoxicidad, presumiblemente por su corta edad (3 años) y por el gran vigor adquirido gracias al patrón de *Citrus macrop-hylla* (8 años en 2022). Es por tanto de esperar que dichos efectos sean observados en años sucesivos a medida que aumente la presencia de boro en el suelo y en la planta, ya que los efectos fitotóxicos pueden aparecer especialmente al alcanzar concentraciones de boro de 300 mg/kg [10].

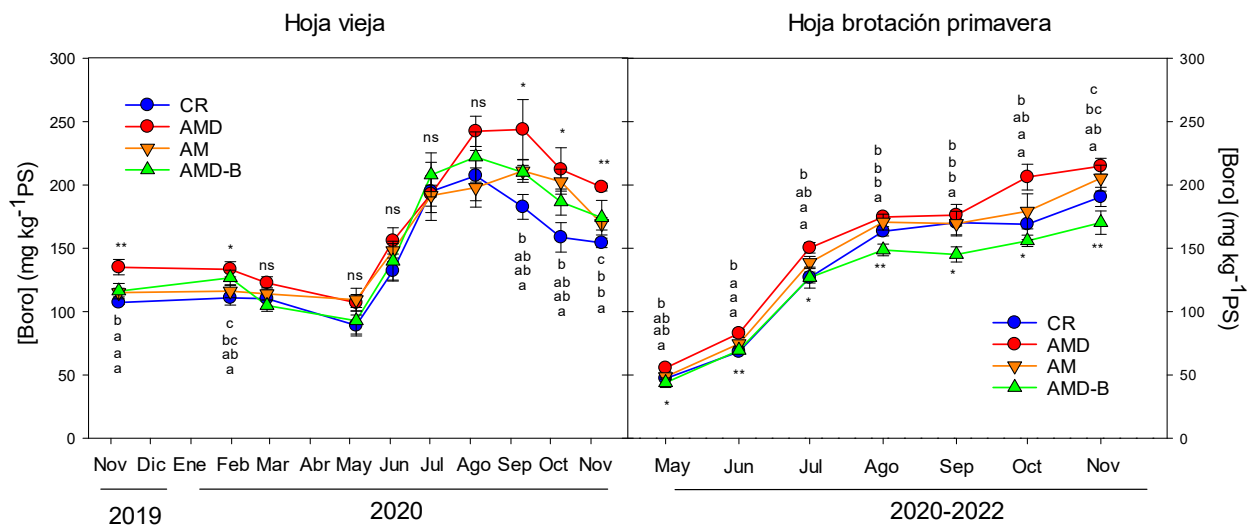


Figura 1. Evolución de la concentración de boro en hoja vieja durante el primer año de ensayo (a) y en la hoja de brotación de primavera en el periodo 2020-2022 (b). Los valores del periodo 2020-2022 mostrados representan el promedio de la concentración de boro medida el mismo mes en los tres años de estudio. Las letras a-c y ns representan diferencias significativas y no significativas entre tratamientos, respectivamente, según la prueba HSD de Tukey ($p \leq 0,05$).

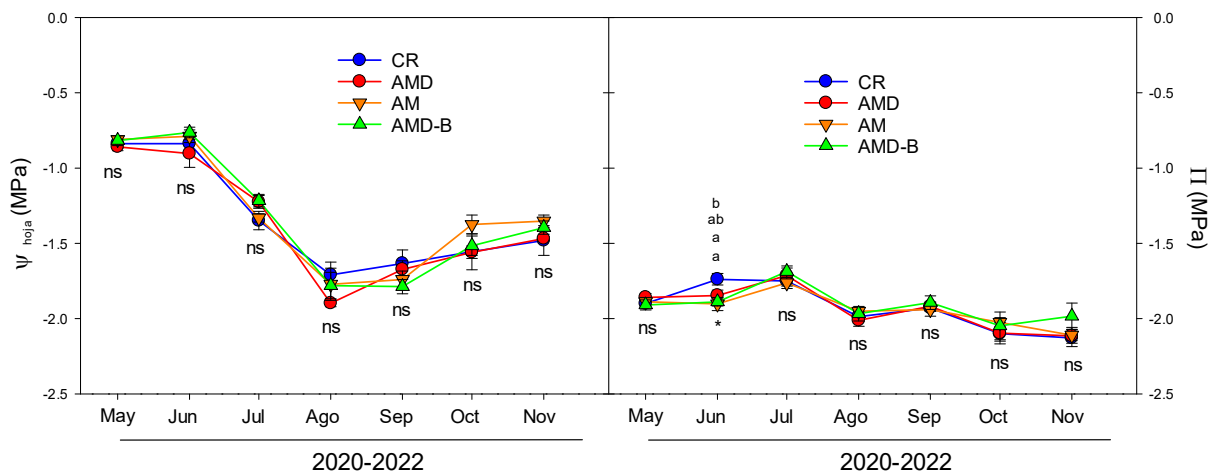


Figura 2. Evolución del potencial hídrico de la hoja (Ψ_{hoja}) y el potencial osmótico en la hoja de brotación de primavera (Π) en el periodo 2020-2022. Los valores del periodo 2020-2022 mostrados representan el promedio de la concentración de boro medida el mismo mes en los tres años de estudio.

Las letras a-c y ns representan diferencias significativas y no significativas entre tratamientos, respectivamente, según la prueba HSD de Tukey ($p \leq 0,05$).

3.2. Evaluación económica

El riego con AMD resultó 2,4 veces más costoso comparado con el tratamiento CR (Figura 3), debido a la gran diferencia en el precio del agua (Tabla 1). Además, la reducción de boro mediante el proceso de OI incrementó el coste de riego cerca del 40% respecto al tratamiento AMD. Por otro lado, puesto que no se realizó un ajuste del aporte en función del contenido nutricional de cada agua de riego para evaluar el efecto real del riego con diferentes recursos hídricos, el coste de fertilizante fue idéntico en los cuatro tratamientos. No obstante, un aspecto destacable entorno a la fertilización es la acelerada variación de los precios de los fertilizantes, que se han visto duplicados en los últimos dos años y que se espera continúen aumentando progresivamente. Esto puede perjudicar la rentabilidad de los cultivos, especialmente al incorporar aguas con un precio elevado, como el AMD (Tabla 1).

Desde su injerto en 2019, el árbol permaneció improductivo hasta enero de 2022, fecha de la primera recolección. Sin embargo, y a pesar de las diferencias en el coste del agua de riego entre tratamientos, no se observaron diferencias significativas en el RE de los años 2021 y 2022, debido principalmente a la gran variabilidad en la cosecha.

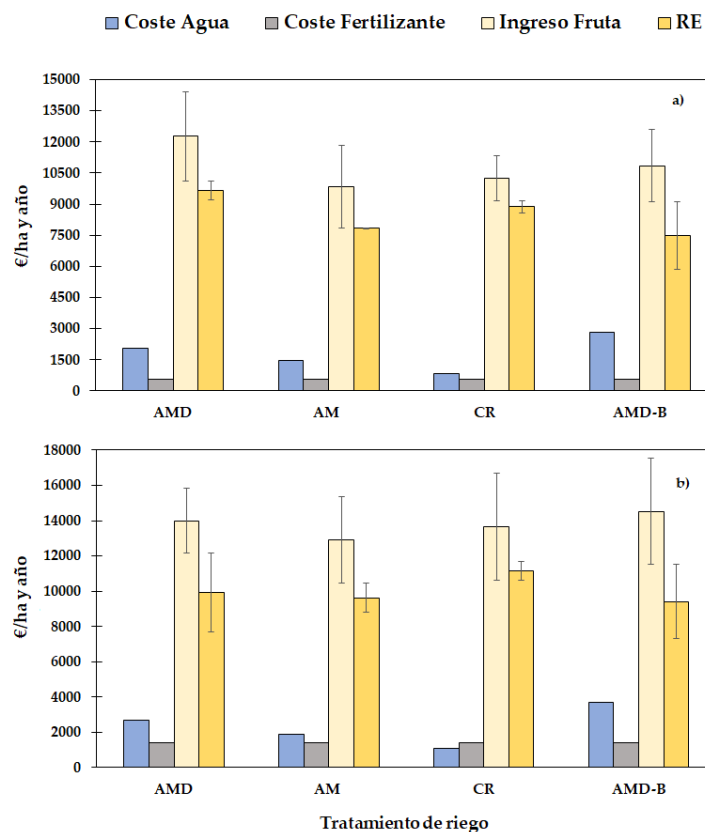


Figura 3. Análisis económico de los cuatro tratamientos de riego en 2021 (a) y 2022 (b). RE. representa el margen bruto obtenido como la diferencia entre los ingresos y el coste de fertiliriego.

4. Conclusiones

Este estudio ha evaluado los efectos agronómicos, fisiológicos y económicos del riego con agua maría desalinizada (AMD) durante tres años (2019-2022) en un cultivo joven de pomelo. Los resultados han mostrado que la continua caracterización del agua de riego y del suelo es vital para evitar posibles efectos adversos sobre los cultivos especialmente sensibles como los leñosos. El riego con AMD puede provocar la carencia de determinados elementos como el calcio o el magnesio si la fertilización no se ajusta correctamente. Además, el AMD puede dar lugar a eventos de sodicidad de suelo, así como a elevadas acumulaciones de boro en el suelo y en las hojas, capaces de producir una respuesta fitotóxica en la planta y una reducción de sus principales actividades fisiológicas. No obstante, y a pesar de las elevadas acumulaciones de boro y otros elementos en el suelo y en las hojas, los árboles han mostrado únicamente signos puntuales de fitotoxicidad y de aumentos de potenciales hídricos de tallo y hoja. Desde el punto de vista económico, y a pesar de que el coste del riego con AMD duplica el coste de los recursos convencionales disponibles en la zona, no se ha observado una diferencia significativa en el resultado del estudio económico, debido principalmente a la gran variabilidad de la productividad entre tratamientos.

Se debe resaltar que estos efectos pueden agravarse al alcanzar la edad adulta, a medida que las acumulaciones de boro, sodio y cloro sean mayores en el suelo y en la planta, perjudicando su normal comportamiento. Estos resultados permiten proporcionar una guía para el uso y manejo del AMD en áreas con escasez de recursos hídricos y habituadas a realizar mezclas de agua para el riego. No obstante, se requieren estudios que evalúen las respuestas fisiológicas y agronómicas a largo plazo para determinar las posibles consecuencias del riego con AMD en cultivos cítricos y leñosos.

5. Agradecimientos

La investigación y la APC han sido financiadas por el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Agencia Estatal de Investigación (MCIN/AEI/10.13039/501100011033, España) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER, UE) en el marco de los proyectos SEARRISOST (RTC-2017- 6192-2) y SEA4CROP (PID2020-118492RA-C22). Adicionalmente, este estudio forma parte del Programa AGROALNEXT / ThinInAzul que ha sido financiado por MICIN con fondos NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia a través de la Fundación Séneca - Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia. Imbernón-Mulero agradece el apoyo a su trabajo de doctorado al proyecto SEA4CROP y al programa predoctoral de la Universidad Politécnica de Cartagena (RV-484/21, UPCT, España). B. Gallego-Elvira agradece el apoyo del Ministerio de Universidades de España (Beca "Beatriz Galindo" BEAGAL18/00081). Se agradece la colaboración de Cátedra Trasvase y Sostenibilidad—Jose Manuel Claver.

Referencias

1. Martínez-Mate, M.A., Martín-Gorriz, B., Martínez-Alvarez, V., Soto-García, M., Maestre-Valero, J.F. 2019. Hydroponic system and desalinated seawater as an alternative farm-productive proposal in water scarcity areas: Energy and greenhouse gas emissions analysis of lettuce production in southeast Spain. *J. Clean. Prod.* 172, 1298-1310.



XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



2. Pellicer-Martinez, F., Martínez-Paz, J.M. 2018. Climate change effects on the hydrology of the headwaters of the Tagus River: Implications for the management of the Tagus-Segura transfer. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22 (12), 6473–6491.
3. Martínez-Alvarez, V., Imbernón-Mulero, A., Gallego-Elvira, B., Soto-García, M., Maestre-Valero, J.F. 2023. Multidisciplinary assessment of the agricultural supply of desalinated seawater in south-eastern Spain. *Desalination.* 548, 116252.
4. Mass, E.V. Crop Salt Tolerance, in: K.K. Tanji (Ed.). 1990. *Salinity Assessment and Management*, Amer. Society of Civil Engineers, New York.
5. Maestre-Valero, J.F., Martínez-Álvarez, V., Jódar-Conesa, F.J., Acosta, J.A., Martin-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. Vera, A., Moreno, J.L., García, C., Nicolás, E., Bastida, F. 2023. Agro-physiological and soil microbial responses to desalinated seawater irrigation in two crops. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 250, 114507.
7. Navarro, J.M., Antolinos, V., Robles, J.M., Botía, P. 2022. Citrus Irrigation With Desalinated Seawater Under a Climate Change Scenario. *Front. Plant Sci.* 13, 909083.
8. Imbernón-Mulero, A., Gallego-Elvira, B., Martínez-Alvarez, V., Martin-Gorriz, B., Molina-del-Toro, R., Jodar-Conesa, F.J., Maestre-Valero, J.F. 2022. Boron Removal from Desalinated Seawater for Irrigation with an On-Farm Reverse Osmosis System in Southeastern Spain. *Agronomy.* 12 (3), 611.
9. Abou Seeda, M.A., Abou El-Nour E.A.A., Yassen, A.A., Hammad, S. 2021. Boron Structure, Functions and Its Interactions with Nutrients in Plant Physiology. A Review. *Middle East Journal of Agriculture Research.* 10 (1), 117-179.
10. Grattan, S.R., Diaz, 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. *Agric. Water Manag.* 157, 48–58.