



Evaluación agronómica del riego con agua marina desalinizada en cítricos. Resultados del primer año de ensayo

J. F. Maestre Valero¹, V. Martínez Alvarez¹, J.A. Acosta Avilés¹, S. Martínez-Martínez¹, F.J. Jodar Conesa¹, M. Soto García¹, B. Martín-Gorriz¹

¹ Universidad Politécnica de Cartagena. Área de Ingeniería Agroforestal (Departamento de Ingeniería Agronómica). Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena (Murcia); josef.maestre@upct.es

Resumen: La escasez de agua y la creciente presión sobre los recursos hídricos en regiones semiáridas ha fomentado la utilización de recursos hídricos no convencionales, como es el agua marina desalinizada (AMD). El AMD es un recurso hídrico inagotable y no sujeto a variaciones climáticas, por lo que estratégicamente resulta idóneo para aumentar la disponibilidad de agua para riego en zonas costeras deficitarias. Sin embargo, el AMD presenta una elevada concentración de Na, Cl⁻ y B y una baja concentración de Mg, Ca y SO₄²⁻. Los escasos estudios realizados hasta la fecha en Israel y España sobre pimiento, banana y tomate, ponen de manifiesto que el riego con AMD, si no se realiza de forma adecuada, puede producir problemas agronómicos y afectar a la productividad de los cultivos. Por el contrario, cuando el AMD se maneja de forma adecuada puede incrementar el rendimiento y la eficiencia del uso del agua. Actualmente no existe información referente al efecto del riego de cítricos con AMD. Por esta razón, este estudio presenta los resultados agronómicos del primer año de investigación sobre los efectos del riego de un huerto de mandarinos con AMD. Los resultados indican que, a pesar de que las concentraciones de Na y B en el agua de riego y en las hojas han alcanzado los umbrales citados como tóxicos en la bibliografía, no se han observado síntomas de fitotoxicidad por Na, Cl⁻ o B en hoja. Además, tampoco se han observado diferencias significativas en rendimiento productivo, número de frutos y productividad del agua, lo que indica que hasta el momento el riego con AMD, bien gestionada, es una alternativa agronómicamente viable.

Palabras clave: Fitotoxicidad; Seguridad alimentaria; Recursos hídricos no convencionales; Productividad del agua.

1. Introducción

La agricultura es, con mucha diferencia, el mayor consumidor de agua dulce del planeta, con 2,7 x 10⁶ hm³ que se utilizan anualmente para regar 324 x 10⁶ ha. Este volumen de agua se ha triplicado desde 1950 para proporcionar alimentos a una población en continuo crecimiento; 9 billones de personas en 2050 [1]. Por otro lado, el cambio climático está reduciendo la disponibilidad de agua dulce, lo que aumenta la competencia por este recurso entre los diferentes usuarios y pone en riesgo la sostenibilidad de la agricultura de regadío. En este contexto, la desalinización de agua marina se presenta como una alternativa que, considerada como complemento a otros recursos hídricos, podría contribuir a garantizar la seguridad alimentaria y la estabilidad socioeconómica a largo plazo [2].

La composición del agua marina, con un 30,2% de Na y un 54,3 % de Cl⁻, junto con los procesos de desalinización por osmosis inversa, hacen que el Agua Marina Desalinizada (AMD)

se caracterice por una escasa mineralización y un desequilibrio en su composición; *i.e.* alta concentración de Na y Cl y baja en Ca, Mg y SO_4^{2-} [2]. Esta singularidad química, si no se considera en el manejo del riego y la fertirrigación, puede conllevar pérdidas significativas tanto en producción como en calidad. Aunque son escasos los estudios que ponen de manifiesto las implicaciones agronómicas, positivas o negativas, del riego con AMD, algunos investigadores ya han obtenido, bajo un correcto manejo agronómico, incrementos del rendimiento de los cultivos y de la eficiencia del uso del agua [3] en pimiento, [4] en banana y [5] en tomate.

Con respecto a los cítricos, la información publicada sobre los efectos del riego con AMD a medio-largo plazo es actualmente escasa. La única referencia patente de riego de cítricos con AMD se recoge en [6] donde se indica que en un ensayo no publicado por los mismos autores se observó un incremento de producción del 10% y una reducción de gasto hídrico del 20%. [7] indicó que la concentración de B en las AMDs puede ser un factor limitante, especialmente para cultivos leñosos. Dada la relevancia de los cítricos en zonas como la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana, donde este cultivo abarca una superficie de 192.717 ha, *i.e.* 40,6% del regadío y el 70,2% de los cultivos leñosos [8], es conveniente llevar a cabo investigaciones y obtener resultados fiables que pongan de manifiesto los efectos agronómicos del riego con AMD. En este sentido, el objetivo de este trabajo es presentar los resultados agronómicos del primer año de investigación sobre los efectos derivados del riego de cítricos con AMD.

2. Materiales y Métodos

2.1. Diseño experimental

El ensayo se ha realizado, entre nov-2017 y nov-2018, en un huerto comercial de 0,3 ha ubicado en el campo de Cartagena (Torre-Pacheco – Murcia), cultivado con árboles de mandarina (var. Safor) de 3 años (en 2017) injertados en patrón *Citrus Macrophylla* Wester. Se seleccionaron 144 árboles espaciados 3 m entre plantas y 5 m entre hileras. El diseño experimental fue al azar con cuatro bloques y cuatro subparcelas experimentales por bloque. La subparcela estándar estaba formada por doce árboles, distribuidos en tres filas adyacentes con cuatro árboles por fila. Los dos árboles centrales de la fila central se utilizaron para las mediciones y los otros diez árboles fueron árboles de guarda para eliminar los posibles efectos de borde. El sistema de riego consistió en un único lateral de goteo de polietileno diámetro 16 mm colocado al lado del tronco del árbol con 2 emisores autocompensantes por árbol de 4 l/h colocados a 0,75 m del tronco.

2.2. Programación y tratamientos de riego

Las dosis de riego se calcularon en base a la evapotranspiración diaria del cultivo (ET_c) acumulada durante la semana anterior. Los valores diarios de ET_c se estimaron multiplicando la evapotranspiración de referencia diaria, calculado con la metodología de Penman-Monteith, por los coeficientes de cultivo específicos del mes (K_c) [9]. Además, se usó un coeficiente de reducción (K_r = 0,5) para considerar la disminución de la ET_c debido a la cobertura parcial del suelo por el dosel del cultivo (árboles jóvenes) [10].

Se realizaron 4 tratamientos de riego: (i) agua de la Comunidad de regantes del campo de Cartagena con CE = $1,66 \pm 0,44$ dS/m (CR), (ii) agua marina desalinizada procedente de la desaladora de Escombreras con CE = $0,97 \pm 0,09$ dS/m (DB), (iii) agua mezcla al 50% entre CR y DB con CE = $1,36 \pm 0,23$ dS/m (AM) y (iv) agua procedente de la balsa de agricultor con CE = $1,82 \pm 0,30$ dS/m (AGR). Los volúmenes totales de agua aplicados se midieron con contadores volumétricos instalados en cada una de los tratamientos de riego. El riego fue controlado automáticamente por un programador de riego y electroválvulas. Todos los tratamientos recibieron las mismas cantidades de fertilizantes (174-98-220 kg/ha/año de N-P₂O₅-K₂O) aplicados mediante fertirrigación al objeto de evaluar correctamente los efectos del riego con AMD. Las

prácticas de control de plagas y la poda fueron las utilizadas comúnmente por los productores en el huerto.

2.3. Monitorización de datos

Calidad del agua

Con frecuencia mensual se recogió una muestra de agua de cada tratamiento, se almacenó a 5°C y se envió al laboratorio para analizar tanto Na, K, Ca, B y Mg mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (Espectrómetro Agilent Technologies ICP-Masas. Modelo 7900, Estados Unidos), como Cl⁻, NO₃⁻ y PO₄⁻³ mediante cromatografía iónica (Metrohm. Modelo 861, Suiza) y conductividad eléctrica del agua (CE_a) utilizando un conductímetro GLP 31 (Crison Instruments, España).

Humedad del suelo

En cada tratamiento se determinó el contenido de agua en el suelo a 25 cm y a 50 cm mediante sondas de humedad HydraProbe II (Stevenswater; USA). Los datos de humedad de suelo se registraron en un datalogger (Campbell CR1000; USA).

Elementos fitotóxicos en hoja

Con frecuencia mensual se seleccionaron por subparcela experimental veinte hojas de primavera de ramitas no fructíferas ubicadas en la parte central del árbol. Las hojas se enviaron al laboratorio para analizar macronutrientes, micronutrientes y, especialmente, elementos fitotóxicos, Na y B mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (Espectrómetro Agilent Technologies ICP-Masas. Modelo 7900, Estados Unidos), y Cl⁻ mediante cromatografía iónica (Metrohm. Modelo 861, Suiza).

Producción

Para los dos árboles centrales de cada subparcela experimental se determinó la producción (kg/árbol) y el número de frutos; en total 6 árboles por tratamiento. Además se determinó la productividad del agua de riego como el ratio entre producción y el agua aplicada (kg/m³).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el análisis de la varianza (ANOVA; SPSS Statistics v. 23 para Windows). La prueba HSD de Tukey (P≤0.05) se utilizó para identificar las diferencias significativas entre tratamientos.

3. Resultados y Discusión

3.1. Calidad del agua y humedad del suelo

El tratamiento DB presentó valores inferiores de CE_a, Ca y Mg que el agua CR, mientras que las concentraciones de B fueron sensiblemente superiores (Tabla 1). La elevada concentración de B en el AMD (aproximadamente 1 mg/L) viene marcada por el RD 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Las concentraciones de Na y B en el agua de riego superaron los umbrales a partir de los cuales es posible observar efectos perjudiciales sobre los cítricos [2,11]. Sin embargo, dichos efectos no se han observado durante el primer año de ensayo, circunstancia que se atribuye al corto periodo de experimentación.

Con respecto al contenido de humedad del suelo, los cuatro tratamientos se mantuvieron bien regados durante el ensayo y con una humedad próxima a la capacidad de campo (entre 250 y 350 mm/m) (datos no mostrados). Los registros frecuentes de los potenciales de tallo (datos no mostrados), medidos con una cámara de presión (modelo 3000; Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA) indicaron el buen estado hídrico de las plantas.

Tabla 1. Análisis químico del agua de riego para los cuatro tratamientos de riego para el periodo de estudio. Los valores son promedios \pm SE para n = 12 meses.

Desde nov 18 hasta nov 19		CR	AM	DB	AGR
pH		7,7 \pm 0,2	7,7 \pm 0,2	7,7 \pm 0,3	8,4 \pm 0,7
CE_a	dS/m	1,54 \pm 0,5	1,27 \pm 0,3	0,92 \pm 0,1	1,69 \pm 0,4
Ca	mg/L	62,7 \pm 12,6	45,5 \pm 9,6	28,0 \pm 12,2	60,4 \pm 18,1
Mg	mg/L	40,7 \pm 12,6	26,6 \pm 6,7	10,5 \pm 6,7	32,4 \pm 11,0
Na	mg/L	176,3 \pm 69,9	162,3 \pm 39,1	142,2 \pm 24,8	217,4 \pm 32,8
K	mg/L	10,4 \pm 3,2	9,2 \pm 2,5	7,1 \pm 1,6	12,1 \pm 9,9
B	mg/L	0,58 \pm 0,25	0,71 \pm 0,11	0,82 \pm 0,14	1,03 \pm 0,09
Cl⁻	mg/L	269,8 \pm 109,0	247,7 \pm 63,9	227,8 \pm 44,1	348,2 \pm 61,0
SO₄²⁻	mg/L	171,6 \pm 45,5	98,5 \pm 28,1	25,2 \pm 36,1	145,4 \pm 66,4
NO₃⁻	mg/L	7,7 \pm 2,8	5,2 \pm 1,5	3,6 \pm 4,0	6,9 \pm 6,3
PO₄³⁻	mg/L	5,3 \pm 5,4	2,5 \pm 1,0	LD<0,76	10,4 \pm 0,4
RAS_a	[mmol/L]^{0.5}	2,4 \pm 0,7	3,2 \pm 0,7	6,3 \pm 1,9	3,5 \pm 0,6
Umbral Máx Na	mg/L		100 [11]		
Umbral Máx Cl⁻	mg/L		350 [12]		
Umbral Máx B	mg/L		0,5 [2]		

3.2. Elementos fitotóxicos en hoja

Durante el primer año de ensayo, no se detectaron diferencias significativas en las concentraciones de Na, Cl⁻ y B en hoja entre tratamientos (exceptuando algunos registros puntuales en el caso del Cl⁻) (Figuras 1a, b, c). Es de destacar la notable variabilidad en los umbrales de toxicidad para Na, Cl⁻ y B publicados para los cítricos. Por ejemplo, [13] determinan el umbral máximo para Na en hoja en 1 g/kg en, mientras que [11] lo establecen entre 1,0 y 2,5 g/kg. En el caso del Cl⁻, [13] establecen el umbral en 6 g/kg mientras que [11] lo establecen en 10 g/kg. En el caso del B, [13] y [11] lo establecen en 100 mg/kg mientras que [14] lo establecen en 250 mg/kg.

En este ensayo, la concentración de Na superó durante algunos meses el umbral inferior propuesto por [11] (Figura 1a) y la concentración de B superó durante todo el ensayo los niveles máximos de tolerancia a los umbrales reportados por [11] (Figura 1c). Sin embargo, la concentración de B no superó los niveles máximos de tolerancia propuestos por [14]. Con respecto a la concentración de Cl⁻ (Figura 1b), los niveles se mantuvieron en valores inferiores a los umbrales máximos para cítricos citados en la bibliografía [11,13]. Independientemente de estos umbrales, en el huerto no se detectó presencia de toxicidad a Na, Cl⁻ y B en el material vegetal. Esta circunstancia se asoció de nuevo al corto periodo de experimentación.

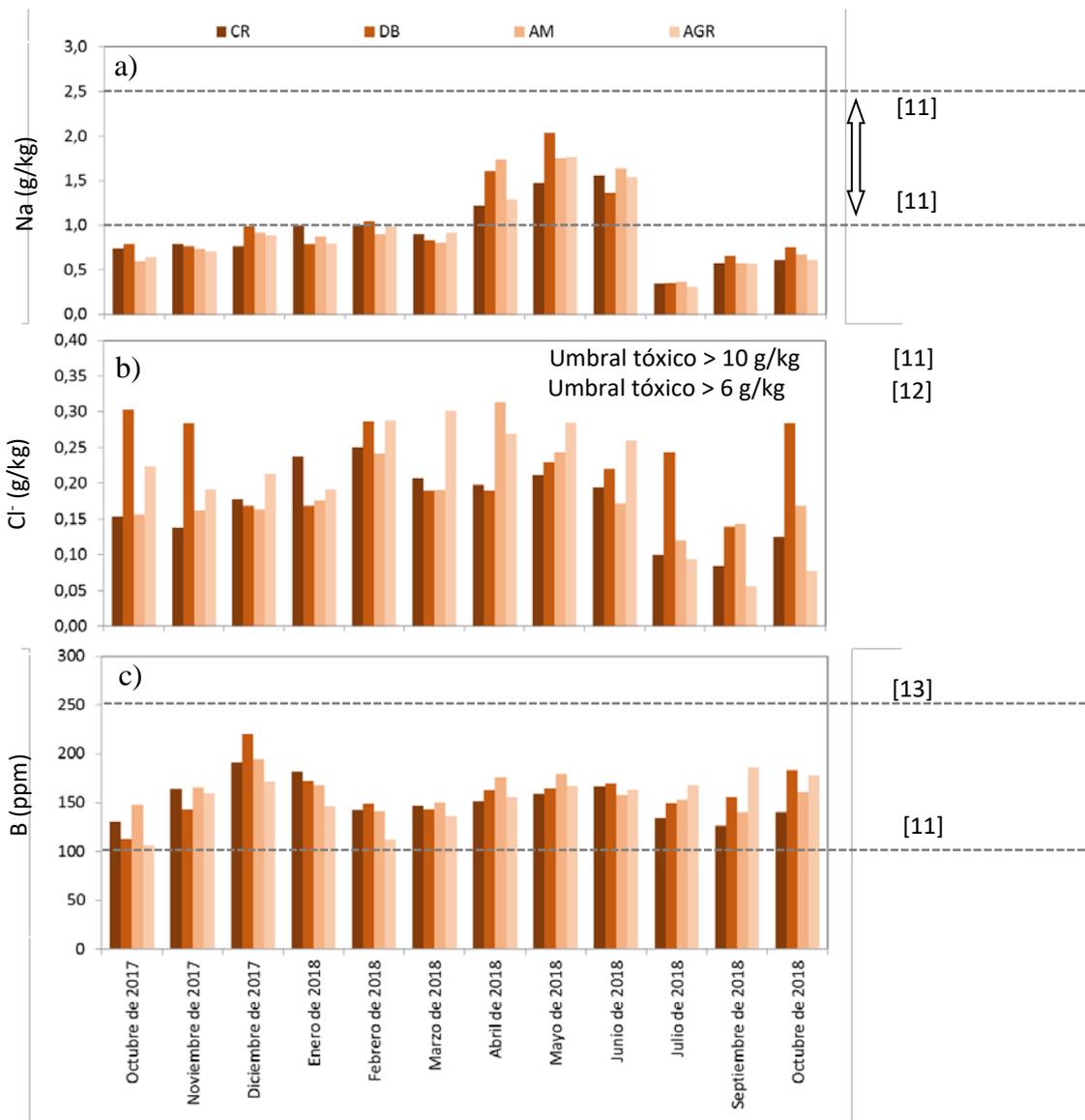


Figura 1. Concentraciones anuales promedio de Na, Cl⁻ y B en hoja para el año de ensayo en los cuatro tratamientos de riego. Cada columna representa el promedio de tres mediciones (una por réplica) tomadas en los seis árboles interiores por tratamiento.

3.3. Producción y número de frutos

Durante el primer año de ensayo no se han observado diferencias significativas en la producción, en la carga de frutos por árbol, ni en la productividad del agua (Tabla 2). Si bien es cierto, son árboles muy jóvenes (3 años en 2017) que se encuentran aún a un 5% de su rendimiento potencial. Además, esta circunstancia se explica principalmente por las grandes desviaciones estándar causadas por la juventud de los árboles, que para algunos valores representaron más del 100% de la media.

Tabla 2. Rendimiento productivo, número de frutos y productividad del agua para el año de ensayo para los cuatro tratamientos de riego realizados.

	CR	AM	DB	AGR
Rendimiento (kg/árbol)	1,3±1,9	4,9±4,2	3,1±1,4	4,9±3,9
Rendimiento (kg/m²árbol)	1,1±1,6	3,5±3,0	2,1±0,9	4,0±3,2
Número frutos/árbol	10,7±15,0	31,5±33,7	23,0±8,1	38,2±32,4
Número frutos/m²árbol	8,7±12,3	22,7±24,3	15,6±5,5	31,5±26,7
Productividad del agua (kg/m³)	0,4±0,5	1,3±1,1	0,9±0,4	1,3±1,0

4. Conclusiones

Las concentraciones de Na y B en el agua de riego y en hoja han alcanzado en todos los tratamientos los umbrales citados como tóxicos en la bibliografía, sin embargo, no se han observado síntomas de fitotoxicidad por Na, Cl o B en hoja, posiblemente justificado por la corta duración del periodo de ensayo. Además no se han observado diferencias significativas en rendimiento productivo, número de frutos y productividad del agua. La edad joven de los árboles, tres años al inicio del ensayo, ha derivado en una gran variabilidad de los resultados. Por lo tanto, se considera que los resultados obtenidos hasta el momento no son concluyentes y resulta por lo tanto necesario continuar con la investigación para obtener resultados a medio-largo plazo, donde se espera detectar y explicar las diferencias entre los distintos tratamientos.

5. Agradecimientos

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) mediante el proyecto RIDESOST (AGL2017-85857-C2-2-R). También se agradece la colaboración de la Catedra Tránsito y sostenibilidad – Jose Manuel Claver Valderas.

Referencias

1. AQUASTAT. 2014. FAO's global water information system, 2014, <http://www.fao.org/nr/aquastat>.
2. Martínez-Alvarez, V., González-Ortega, M.J., Martín-Gorriz, B., Soto-García, M. and Maestre-Valero, J.F. 2017. The use of desalinated seawater for crop irrigation in the Segura River Basin (south-eastern Spain). *Desalination*, 422: 153-164.
3. Ben-Gal, A., Yermiyahu, U. and Cohen, S., 2009. Fertilization and Blending Alternatives for Irrigation with Desalinated Water. *Journal of Environmental Quality*, 38(2): 529-536.
4. Silber, A. et al., 2015. Irrigation with desalinated water: A step toward increasing water saving and crop yields. *Water Resources Research*, 51(1): 450-464.
5. Karami, S., Karami, E. and Zand-Parsa, S. 2017. Environmental and economic appraisal of agricultural water desalination use in South Iran: a comparative study of tomato production. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 5(2): 91-102.
6. Zarzo, D., Campos, E. and Terrero, P., 2013. Spanish experience in desalination for agriculture. *Desalination and Water Treatment*, 51(1-3): 53-66.
7. Maestre-Valero, J.F., Martínez-Alvarez, V., Gallego-Elvira, B., Martín-Gorriz, B. 2019. Aspectos agronómicos a considerar en el riego con agua marina desalinizada. En Congreso Nacional del agua - Innovación y Sostenibilidad. Orihuela, España, 167-188
8. ESYRCE (Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos), 2018. (Acceso marzo 2019).
9. Castel, J.R., Bautista, I., Ramos, C., Cruz, G. 1987. Evapotranspiration and irrigation efficiency of mature orange orchards in Valencia (Spain). *Irrig and Drainage Systems*. 3: 205-217.
10. Fereres, E., Castel, J. R. 1981. Drip Irrigation Management. Division of Agricultural Sciences, University of California, Leaflet 21259.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

11. Grattan, S.R., Diaz, F.J., Pedrero, F. and 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.
12. Hanson, B., Grattan, S., Fulton, A. 2006. *Agricultural Salinity and drainage*. Water management series publication, 3375. 157 pp.
13. Romero-Trigueros, C. et al., 2014. Assessment of the viability of using saline reclaimed water in grapefruit in medium to long term. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12(4): 1137-1148.
14. Embleton, T.W., Jones, W.W., Labanauskas, C.K., Reuther, W. 1973. Leaf analysis diagnostic tool and a guide to fertilization. In: Reuther, W. (Ed.), *The Citrus Industry*, vol. 2, second ed. University of California, Berkeley, pp. 184–210, and Appendix I pp. 447–495.