

RIEGO CON AGUA DESALINIZADA

en cultivos hortícolas intensivos

El agua de mar desalinizada es un recurso estratégico para garantizar el desarrollo de la horticultura intensiva del sureste español. Su incorporación para ser mezclada con otros tipos de aguas ya disponibles, agua subterránea y agua superficial, requiere de estudios agronómicos sobre los cultivos hortícolas donde se va a emplear. En este artículo se analizan los efectos de su uso sobre la producción de uno de los principales cultivos hortícolas, el tomate, y sobre la acumulación de sales en el suelo.

FRANCISCA ALONSO, JOSÉ G. LÓPEZ, G. CÁNOVAS, JUANA I. CONTRERAS, RAFAEL BAEZA
Instituto de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA),
Centro La Mojenera (Almería)



Invernaderos de cultivos hortícolas. En el centro desaladora del Campo de Dalías. Imagen cedida por Nestor Cánovas.

En el sureste de Andalucía se concentra una de las mayores superficies de invernaderos del mundo. Este modelo de horticultura intensiva se ha sustentado en el uso de aguas subterráneas para el riego, lo que ha provocado la sobreexplotación de

los acuíferos y el deterioro de la calidad de sus aguas. La salinización creciente de los acuíferos pone en riesgo la producción de muchos cultivos hortícolas que son sensibles o moderadamente sensibles a la salinidad y aumenta el riesgo de salinización/sodificación de los suelos a largo plazo.

Ante esta situación, se ha incorporado al sistema productivo el agua de mar desalinizada, por ser un recurso inagotable y seguro, de baja salinidad, que además puede contribuir a la recuperación de los acuíferos sobreexplotados por reducir las extracciones.

Ventajas e inconvenientes del riego con agua de mar desalinizada

- Ventajas

La disponibilidad de agua de mar no está sujeta a variaciones climáticas (sequías), por lo que estratégicamente resulta idóneo para aumentar de forma sistemática el volumen de recursos hídricos para riego en zonas deficitarias como el sureste español. Libera recursos convencionales para el medio ambiente, favoreciendo el cumplimiento de la Directiva Marco del Agua (sobreexplotación de las aguas subterráneas). Su producción es modulable y escalable (adaptable a distintos tipos de agricultura). Se trata de un producto de calidad apta para el uso en la agricultura.

- Inconvenientes

Su producción presenta un elevado consumo energético y un elevado precio de suministro, que compromete la viabilidad económica de cultivos y sistemas de producción más tradicionales, no siendo el caso de los cultivos hortícolas intensivos del sureste peninsular. Atendiendo a su composición química vemos que presenta carencias y desequilibrios en su composición, que limitan el desarrollo de los cultivos. El agua de mar desalinizada se caracteriza por unos contenidos mínimos de calcio, magnesio y sulfatos. Además, presenta una concentración remanente de iones cloro y sodio muy elevada en relación a las aguas continentales aptas para riego y tiene una considerable concentración de boro. Produce oscilaciones de pH en la fertirrigación (menor efecto tampón).

Debido a estas características, desde el punto de vista agronómico, su uso plantea mayores necesidades de fertilizantes, riesgos específicos de fitotoxicidad por cloruros y boro y riesgo de alcalinización de suelos por la concentración de sodio que posee. Para paliar los desequilibrios y carencias que presenta la mejor opción es mezclarla con otros tipos de agua.

Es muy importante controlar la calidad físico-química del agua mezcla de entrada para evitar desequilibrios en la solución de fertirriego

Modelos de gestión de mezclas de agua de riego

En los cultivos hortícolas intensivos se fertirriega, por lo que el agua es la base sobre la que se completa el equilibrio nutricional. En la mayoría de las explotaciones el equipo técnico que las asesora ajusta la dosis fertilizante de manera que los aportes se reducen en aquellos iones ya presentes en el agua de riego. De ahí que sea muy importante controlar la calidad físico-química del agua mezcla de entrada para evitar desequilibrios en la solución de fertirriego que ocasionan pérdidas de producción y la aparición de fisiopatías en el cultivo.

En la actualidad hay dos modelos de gestión de mezclas de agua en función del punto de distribución en el que se produce la mezcla:

- Mezcla en baja

Cada usuario dispone en su explotación de dos tipos de agua: la convencional (normalmente agua subterránea salobre) y el agua de mar desalinizada. Esto permite a los regantes gestionar su mezcla final, estableciéndola en función del cultivo, ciclo, etc. Este tipo de manejo se ha denominado también “agua a la carta” y requiere de una infraestructura mínima a nivel de parcela para poder controlar la mezcla: doble balsa de abastecimiento y/o mezclador automático de agua.

- Mezcla en alta

En este caso la mezcla la realiza el responsable del abastecimiento del recurso, normalmente la comunidad de regantes o la junta central de usuarios (agrupación de comunidades de regantes y demás usuarios colectivos del recurso). Con esta opción se reducen los costes de las infraestructuras al realizarse de manera colectiva, pero el usuario pierde la capacidad de elegir la mezcla final que llega a su explotación. Este último modelo es el más extendido en la actualidad y es el que se ha desarrollado en el Campo de Dalías, comarca donde se concentra la mayor área de invernaderos de la provincia de Almería con 22.508 ha en producción (CAPDR, 2023). El abastecimiento de agua en esta zona es competencia de la Junta Central de Usuarios del Acuífero del Poniente Almeriense (JCUAPA). Esta entidad solicitó al IFAPA la realización de estudios con el objetivo de identificar la/s combinación/es de agua de mar desalinizada y agua subterránea salobre idónea/s para el riego de los principales cultivos hortícolas que se producen en la comarca. De esta manera se podrá garantizar el suministro de un agua de calidad al usuario final. En este artículo se recogen parte de los resultados de uno de los proyectos realizados en IFAPA en esta línea de trabajo.

Caso práctico: riego de un cultivo de tomate en invernadero con distintas mezclas de agua

En este trabajo se analizan los resultados obtenidos con distintas mezclas de agua (agua de mar desalinizada y agua subterránea salobre) sobre la producción del cultivo de tomate. El objetivo fue determinar la combinación de mezclas de aguas y de manejo del riego que maximizan la producción del cultivo y que tienen la menor repercusión en la salinización del suelo. El ensayo se llevó a cabo en invernaderos del Centro IFAPA La Mojonera (Almería). El cultivo se estableció en suelo enarenado, característico de los cultivos hortícolas intensivos del

TABLA 1
Composición química de los distintos tipos de agua empleados en el ensayo.

| | pH | CE | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | SAR |
|-------------------|------|--------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|------|
| | | dS m ⁻¹ | mM | mM | mM | mM | mM | mM | mM | mM | |
| AMD CE0,5 | 7,96 | 0,48 | 2,00 | 2,23 | 0,21 | 0,02 | 0,72 | 0,41 | 2,48 | 0,12 | 2,33 |
| ASS CE2,4 | 7,71 | 2,39 | 4,05 | 14,51 | 1,06 | 2,37 | 1,97 | 4,24 | 10,65 | 0,20 | 4,27 |
| Agua Mezcla CE1,0 | 7,82 | 1,00 | 2,52 | 5,55 | 0,44 | 0,65 | 1,06 | 1,56 | 4,69 | 0,14 | 2,96 |
| Agua Mezcla CE1,5 | 7,85 | 1,53 | 3,13 | 8,98 | 0,68 | 1,31 | 1,41 | 2,52 | 6,97 | 0,16 | 3,52 |

AMD: agua de mar desalinizada; ASS: agua subterránea salobre

sureste peninsular, con una textura franco arcillosa. El material vegetal utilizado fue tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivar Caniles cuyo ciclo duró 215 días. Los diferentes niveles de salinidad del agua se obtuvieron a partir de las mezclas de agua de mar desalinizada (AMD) procedente de la desaladora del Campo de Dalías y de agua subterránea salobre (ASS) procedente del Acuífero Superior Central del poniente almeriense. El proceso de mezcla estaba automatizado mediante válvulas motorizadas que regulaban su apertura y cierre en función del valor registrado por los sensores de conductividad eléctrica (CE). En la **Tabla 1** se recoge la composición química de los distintos tipos de agua que se emplearon en el ensayo y en la **Figura 1** se muestran los porcentajes de AMD y ASS que se utilizaron para conseguir las mezclas de agua.

El manejo del riego se realizó a demanda mediante el control automatizado con electrotensiómetros (Irrrometer Co, inc. Riverside, CA, USA). Esta gestión del riego se basa en la monitorización del estado hídrico del suelo con tensiómetros que llevan acoplado un transductor que convierte la lectura de la tensión matricial del suelo (Ψ_m) en una señal eléctrica (milivoltios). La lectura en continuo de la Ψ_m se traslada a un programador mediante el cual, estableciendo una consigna de activación del riego de trabajo, se aplica un riego de forma automática cuando el electrotensió-

metro alcance ese umbral de Ψ_m establecido. De ahí que este manejo reciba el nombre de riego a demanda (Baeza *et al.*, 2020). La frecuencia del riego varió en función de la consigna de activación del riego que se estableció en cada tratamiento, mientras que la dotación aplicada en cada pulso de riego fue la misma para todos los tratamientos, 3 L m⁻². La solución nutritiva aplicada en el fertirriego fue la misma para todos los tratamientos y fue variando en función del estado de desarrollo del cultivo.

Para analizar los efectos del riego con distintas mezclas de agua y diferentes manejos del riego se estableció

un diseño experimental factorial en bloques completos al azar. Los factores de estudio fueron el nivel de salinidad del agua y el manejo del riego (consigna de activación del riego). Los niveles de salinidad del agua estudiados fueron:

- AMD de CE 0,5 dS m⁻¹
- Agua mezcla de CE 1,0 dS m⁻¹
- Agua mezcla de CE 1,5 dS m⁻¹
- ASS de CE 2,4 dS m⁻¹

Las consignas de activación del riego fueron:

- Ψ_{m-10} : -10 kPa
- Ψ_{m-20} : -20 kPa

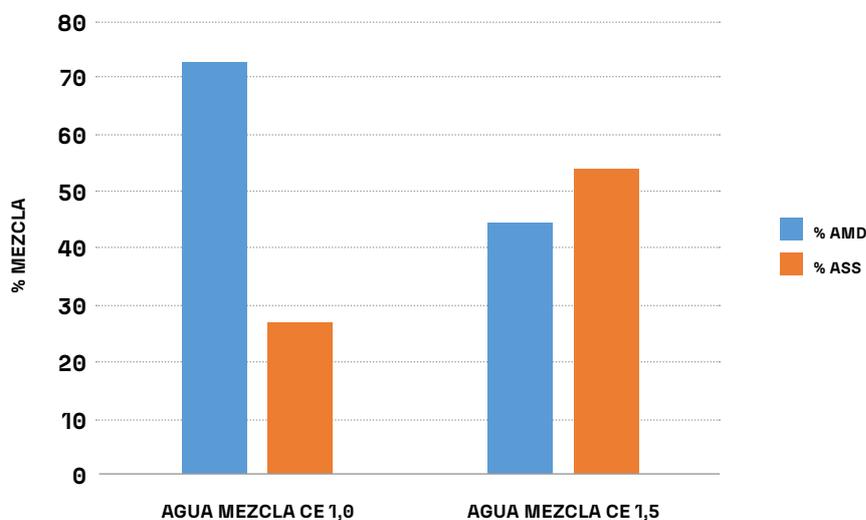


FIGURA 1
Porcentajes de agua de mar desalinizada (AMD) y agua subterránea salobre (ASS) empleados para conseguir el agua mezcla CE 1,0 y el agua mezcla CE 1,5 respectivamente.

Como resultado de la combinación de los niveles de ambos factores se realizaron un total de 8 tratamientos con 4 repeticiones cada uno.

- Efectos sobre la producción

En lo que respecta a la producción, los resultados muestran un claro efecto del nivel de salinidad del agua y del manejo del riego, sin que existiera interacción significativa entre ambos factores. El agua mezcla de CE 1,0 dS m⁻¹ y el riego con AMD CE 0,5 dS m⁻¹ proporcionaron las máximas producciones mientras que el agua mezcla de CE 1,5 dS m⁻¹ y el riego con ASS de CE 2,4 dS m⁻¹ provocaron mermas productivas cifradas en un 12 y un 35% respectivamente (Figura 2). Tal y como apuntan otros estudios, el empleo de una mayor fracción de agua de mar desalinizada en la mezcla con aguas salobres repercute en una mayor producción (Reca *et al.*, 2018).



Invernadero experimental donde se realizó el ensayo de mezclas de aguas y manejo del riego con electrotensiómetros.

Por otro lado, el manejo del riego en el que se mantenía un nivel de humedad en el suelo más elevado durante

todo el ciclo de cultivo, consigna de activación -10 kPa, proporcionó una producción mayor que la conseguida



RKD

PIVOT

El control del riego en tus
manos. Última tecnología
fabricada en España.



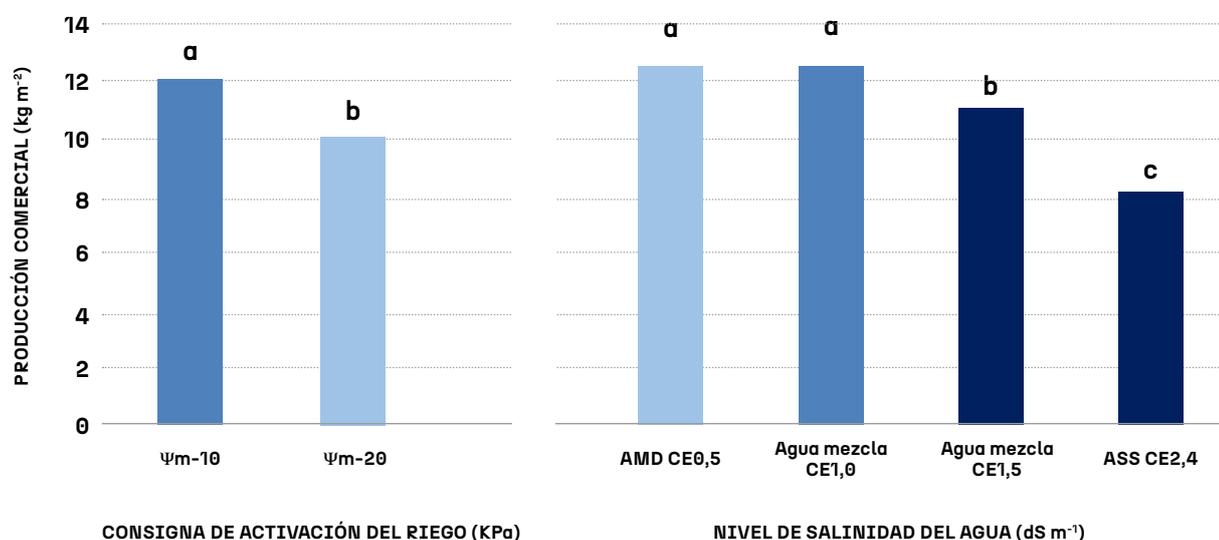


FIGURA 2
Producción comercial de tomate (kg m⁻²). Efectos del manejo del riego y del nivel de salinidad del agua. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$).

con el manejo del riego a una consigna de activación de -20 kPa (**Figura 2**). De acuerdo con otros estudios realizados en condiciones similares a éste, las consignas de riego asociadas a valores muy elevados de humedad en suelo, próximos a saturación, proporcionan un incremento de la producción (Contreras *et al.*, 2021).

- Efectos sobre la acumulación de sales en el suelo

El estado salino del suelo al final del ciclo de cultivo muestra el efecto de ambos factores de estudio, sin que existiera interacción entre ambos (**Tabla 2**). El empleo del agua de mayor nivel de salinidad, ASS CE 2,4, dio lugar a los valores más altos de conductividad del extracto saturado del suelo (CEes) mientras que el uso del agua mezcla de CE 1,0 proporcionó valores significativamente más bajos y estadísticamente similares a los obtenidos con el uso de AMD CE 0,5 (**Tabla 2**). Los valores de [Na⁺] y de [Cl⁻] muestran el mismo comportamiento que la CEes. En lo que respecta al manejo del riego, el empleo de la consigna de riego de Ψ_{m-10} produjo

una mayor acumulación de sales en el suelo que el empleo de la consigna de Ψ_{m-20} (**Tabla 2**).

Considerando que el umbral máximo de CEes para iniciar un nuevo ciclo de tomate es de 2,5 dS m⁻¹ (Casas y Casas, 1999), solo el riego con AMD CE 0,5 está próximo a este valor. El riego con ASS CE 2,4 casi lo duplica. Esto implicará el empleo de un gran volumen

de agua en la práctica convencional del lavado de sales que se realiza al finalizar el ciclo de cultivo para reducir los niveles de sales de manera significativa hasta el valor apropiado para el desarrollo de un nuevo ciclo de cultivo. La aplicación de este gran volumen supone ser menos eficiente en el uso del agua. Además, podría agravar el problema de salinización

TABLA 2
Estado salino del suelo después de la aplicación de los tratamientos. Conductividad eléctrica (CEes), concentración de sodio [Na⁺] y concentración de cloruros [Cl⁻] del extracto saturado de suelo.

| | | Extracto saturado del suelo al final del ciclo de cultivo | | |
|------------------------------|-------------------|---|------------------------|------------------------|
| | | CEe | Cl ⁻ | Na ⁺ |
| | | (dS m ⁻¹) | (meq L ⁻¹) | (meq L ⁻¹) |
| A: Nivel de salinidad agua | | ** | *** | ** |
| | AMD CE0,5 | 2,87 c | 4,84 c | 5,36 b |
| | Agua mezcla CE1,0 | 3,20 bc | 5,50 bc | 5,74 b |
| | Agua mezcla CE1,5 | 3,72 ab | 8,55 b | 8,56 b |
| | ASS CE2,4 | 4,23 a | 13,15 a | 13,23 a |
| B: Consigna activación riego | | * | ns | ns |
| | Ψ _{m-10} | 3,78 b | 8,50 | 8,77 |
| | Ψ _{m-20} | 3,24 a | 7,50 | 7,68 |
| Interacción (A x B) | | ns | ns | ns |

AMD: agua de mar desalinizada; ASS: agua subterránea salobre; Ψ_m: tensión matricial del suelo; CEe: conductividad eléctrica del extracto saturado; Cl⁻: cloruros; Na⁺: Sodio

de los acuíferos si además no se emplean aguas de buena calidad para el lavado (baja salinidad). Los valores de CEE, Cl⁻ y Na⁺ obtenidos al final del ciclo de cultivo tras el riego con las dos mezclas de agua aplicadas (mezcla de CE 1,0 y mezcla de CE 1,5) son significativamente más bajos y se sitúan en valores mucho más aceptables. Aquí el riego de lavado de sales implicaría el uso de volúmenes de agua menores que en el caso anterior.

A modo de conclusión

Este trabajo pone de manifiesto que el uso de agua de mar desalinizada mezclada con agua subterránea es una opción viable desde el punto de vista productivo. Aunque el riego con agua de mar desalinizada sin mezclar no presenta ningún problema para la producción de hortalizas desde el punto de vista agronómico, no parece ser, hasta el momento, la mejor opción si se tienen en cuenta consideraciones económicas (coste del agua elevado, mayor necesidad de fertilizantes para ajustar los aportes a las necesidades nutricionales de los cultivos).

En lo que respecta al efecto de acumulación de sales en el suelo, en este trabajo se observa, como era de esperar, que cuanto menor fue el nivel de salinidad del agua de partida empleada menor fue esa acumulación. Esto tiene implicaciones positivas de cara a los riegos de lavado de sales que se aplican de forma común en los invernaderos de hortalizas después de la campaña de cultivo. Los suelos que tengan un nivel de partida de menor salinidad requerirán de un menor volumen de agua para el lavado de sales y presumiblemente se producirá una menor lixiviación hacia los acuíferos.

Desde el punto de vista medio ambiental, el uso del agua mezcla CE 1,0 en el que el porcentaje de agua subterránea salobre era inferior al empleado en la mezcla CE 1,5 (27 vs. 55%) supone una menor extracción de agua de los acuíferos sobreexplotados.

Agradecimientos

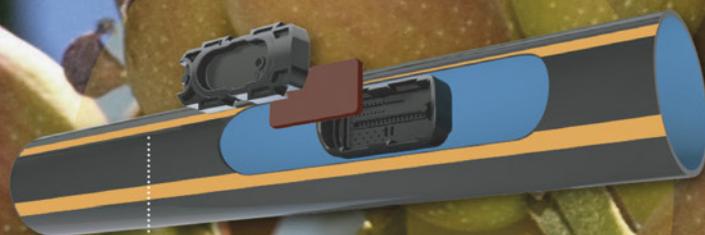
Este trabajo ha sido cofinanciado al 85% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través de los proyectos IFAPA: “Soluciones tecnológicas para la gestión eficiente de un regadío sostenible. SAR” y “Riego de frutas y hortalizas de invernadero con agua desalada mezclada con otras aguas”.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com

DRIPNET®

EL GOTERO MÁS VENDIDO DEL MUNDO



PRECISIÓN
DURACIÓN
EFICIENCIA

Regaber
matholding group