



**PROPOSAL LIFE 16-ENV-ES-000341**

**“DESALINATED SEAWATER FOR ALTERNATIVE AND  
SUSTAINABLE SOILLESS CROP PRODUCTION”**



**ACTION C1. MONITORING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF  
IRRIGATION WITH DESALINATED SEAWATER**

**“Report of first year assays about recommendations and tasks to  
optimize the use of desalinated seawater”**

**“October 2019”**

## **INDICE**

<b>1. SINGULARIDADES DEL AGUA MARINA DESALINIZADA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. IDONEIDAD DEL AGUA MARINA DESALINIZADA PARA RIEGO .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Salinidad del agua y rendimiento de cultivos .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Nutrientes esenciales: Mg y Ca .....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. Iones fitotóxicos: Cl, Na, B .....</b>	<b>5</b>
<b>2.4. Riesgo de sodicidad del suelo.....</b>	<b>6</b>
<b>2.5. Capacidad tampón.....</b>	<b>8</b>
<b>3. RECOMENDACIONES DE GESTIÓN SOSTENIBLE.....</b>	<b>9</b>
<b>4. IMPACTOS EN SUELO, PLANTA Y FRUTO OBSERVADOS EN EL ENSAYO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1. Suelo.....</b>	<b>10</b>
<b>4.2. Planta .....</b>	<b>11</b>
<b>4.3. Fruto.....</b>	<b>11</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>12</b>



## **RESUMEN**

En este entregable se indican las características químicas singulares del agua marina desalinizada (AMD) y se analiza su idoneidad para el riego. El AMD tiene altas concentración de sodio (Na), cloruro (Cl) y boro (B) y una concentración baja de magnesio (Mg), calcio (Ca) y sulfato ( $\text{SO}_4$ ). Además, el AMD se caracteriza por una alcalinidad y un índice de Langelier (IL) reducidos. Uno de los principales aspectos positivos del AMD es su baja conductividad eléctrica ( $\text{CE}_a$ ). La  $\text{CE}_a$  de las plantas desaladoras del sureste español (visitadas por DESEACROP) tiene un valor entre 0.45 y 0.55 dS/m. Sin embargo, la baja concentración de los nutrientes esenciales (Ca y Mg) y la elevada concentración de B, Cl y Na presenta ciertos retos en el manejo del fertirriego, para los cuales se presentan recomendaciones en este documento. Además, se presentan los principales resultados preliminares de los impactos en suelo, planta y fruto correspondientes a los ciclos 1 y 2 de cultivo de tomate en el invernadero experimental.

## **ABSTRACT**

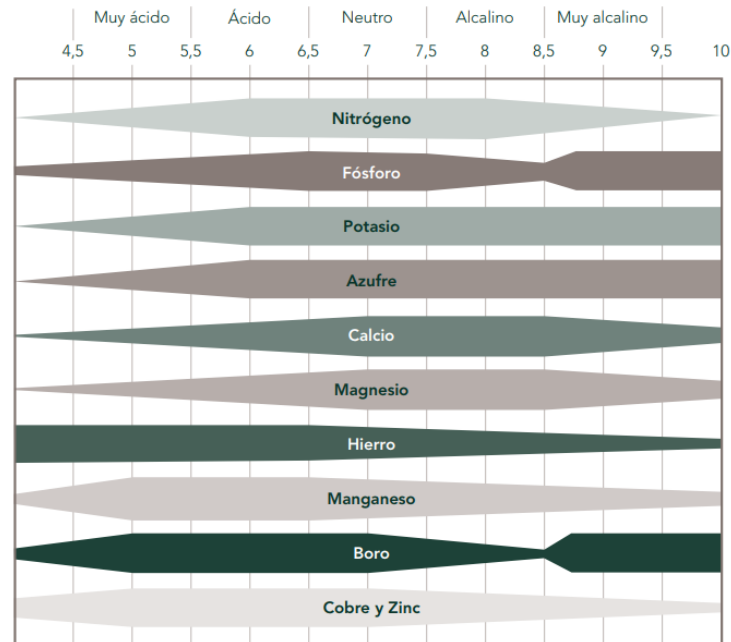
This deliverable shows the chemical characteristics of desalinated seawater (DSW) and its suitability for irrigation. DSW has a high concentration of sodium (Na), chloride (Cl) and boron (B) and a low concentration of magnesium (Mg), calcium (Ca) and sulfate ( $\text{SO}_4$ ). In addition, DSW is characterized by reduced alkalinity and Langelier index (IL). One of the main positive aspects of DSW is its low electrical conductivity ( $\text{EC}_w$ ). The  $\text{EC}_w$  of desalination plants in southeastern Spain (visited by DESEACROP) has a value between 0.45 and 0.55 dS/m. However, the low concentration of the essential nutrients (Ca and Mg) and the high concentration of B, Cl and Na present certain challenges in the management of fertigation, for which recommendations are presented in this document. In addition, the main preliminary results of the impacts on soil, plant and fruit corresponding to cycles 1 and 2 of tomato cultivation in the experimental greenhouse are presented.



## 1. SINGULARIDADES DEL AGUA MARINA DESALINIZADA

El agua marina desalinizada (AMD) producida en los procesos de osmosis inversa de las infraestructuras de desalinización de agua marina (IDAMs) presenta unas características químicas singulares que se deben tener en cuenta en riego. En general, los permeados del proceso de osmosis inversa tienen un pH ácido, una concentración total de sólidos disueltos inferior a 250 mg/L y una dureza y capacidad tampón muy reducidas (Birnhack et al., 2009). Por consiguiente, el AMD en estas condiciones debe ser remineralizada e iónicamente equilibrada antes de su distribución para cualquier aplicación, ya que puede resultar agresiva incluso para los propios componentes del sistema de distribución (Lahav et al., 2009).

En general, el AMD presenta una elevada concentración de iones sodio (Na), cloruro (Cl) y boro (B) y una concentración baja de magnesio (Mg), calcio (Ca) y sulfato (SO<sub>4</sub>). Además, el AMD se caracteriza por una alcalinidad y un índice de Langelier (IL) reducidos. Estos dos últimos parámetros, alcalinidad e IL, hacen referencia a la estabilidad química del agua. En primer lugar, la alcalinidad representa una medida estandarizada de la capacidad tampón del agua; *i.e.*, un agua con reducida alcalinidad es muy sensible a los cambios de pH mientras que conforme aumenta la alcalinidad se incrementa la capacidad para amortiguar los cambios de pH. La alcalinidad del agua es un factor de elevada relevancia en cultivos en sistema hidropónico, con y sin sustrato, que se caracteriza por su reducida capacidad tampón. Por ejemplo, en el caso de la fertirrigación, los fertilizantes se pueden caracterizar por el tipo de reacción que generan, ácida o básica, y por lo tanto, su adición puede provocar cambios repentinos en el pH, lo que podría tener un gran impacto en la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos y por ende en la productividad agrícola. La Figura 1 muestra la disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo.



**Figura 1.** Disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo (Fuente: Troug, 1946).

En segundo lugar, el IL permite evaluar el potencial de precipitación – disolución de los carbonatos presentes en el agua de riego. En este sentido, IL se puede interpretar como el cambio de pH requerido para llevar el agua a equilibrio; si IL es negativo, el agua disolverá el  $\text{CaCO}_3$ . Por el contrario, si IL es positivo, el  $\text{CaCO}_3$  puede precipitar. En los esquemas de distribución se recomiendan valores nulos de IL.

## 2. IDONEIDAD DEL AGUA MARINA DESALINIZADA PARA RIEGO

### 2.1. Salinidad del agua y rendimiento de cultivos

La salinidad en el agua de riego, propiedad que se refiere a la cantidad de sal soluble en el agua, se suele expresar mediante la conductividad eléctrica ( $\text{CE}_a$ ). Es totalmente aceptado que el rendimiento de los cultivos se encuentra relacionado con la salinidad del suelo ( $\text{CE}_s$ ; conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo) y la del agua de riego ( $\text{CE}_a$ ). En este sentido, Maas y Hoffman (1977) establecieron una función de respuesta lineal caracterizada por un valor umbral de salinidad por debajo del cual el rendimiento no se ve afectado. Sin embargo, una vez se sobrepasa el umbral de salinidad, el rendimiento disminuye linealmente con la salinidad. Este modelo de umbral-pendiente es específico para cada cultivo y se ha utilizado



ampliamente en la gestión del riego de cultivos. La Tabla 1 presenta el umbral y la pendiente para varios cultivos representativos del regadío mediterráneo.

**Tabla 1.** Rendimiento de cultivos en función de la salinidad del suelo o de la salinidad del agua de riego. Valores adaptados de Maas and Grattan (1999) and Ayers and Westcot (1985)

Cultivo	Función (Ec.1)		$Y_r = 100 - b (EC_{e\ o\ a} - a)$	
	Umbral		Pendiente <sup>b</sup>	
	CE <sub>e</sub> <sup>a</sup>	CE <sub>a</sub> <sup>a</sup>	CE <sub>e</sub> <sup>a</sup>	CE <sub>a</sub> <sup>a</sup>
	dS/m		%/(dS/m)	
Melón	2,2	1,5	7,1	10,9
Lechuga	1,3	0,9	13,2	20,8
Limonero	1,7	1,1	12,8	24,2
Naranja	1,7	1,1	16,7	21,7
Melocotonero	1,7	1,1	21,0	31,8
Tomate	2,5	1,7	10,0	14,7
Pimiento	1,5	1,0	13,9	20,8

<sup>a</sup> CE<sub>e</sub> y CE<sub>a</sub> hacen referencia a la conductividad eléctrica del extracto de saturación y del agua de riego, respectivamente.

La CE<sub>a</sub> de las IDAMs del sureste español (visitadas por DESEACROP) tiene un valor entre 0.45 y 0.55 dS/m; valores típicos en plantas que solo tienen una etapa de filtrado de osmosis inversa. Estos valores siempre se encuentran por debajo de los valores umbrales de CE<sub>a</sub> citados en la bibliografía (Tabla 1). Por lo tanto, el riego con AMD en base a la relación salinidad – rendimiento puede resultar beneficioso cuando el AMD sustituye aguas con elevada salinidad, superior a los umbrales de toxicidad por sales indicados y que por lo tanto se encuentran supeditados a reducciones en el rendimiento. Además, el riego con AMD, con reducida concentración salina, permite reducir los requerimientos de lavado de sales con efecto directo en la reducción de las dosis de riego a aplicar. La relación CE<sub>a</sub> y rendimiento de los cultivos explica la práctica usual de mezclar las aguas marginales (subterráneas y regeneradas salinas) con el AMD al objeto de reducir su salinidad y por tanto los efectos sobre el rendimiento de los cultivos.

## 2.2. Nutrientes esenciales: Mg y Ca

El Mg y Ca se consideran nutrientes esenciales para los cultivos y por lo tanto la carencia de alguno de ellos afecta a la calidad de los frutos y a la resistencia a enfermedades de los cultivos (White, 2003). A pesar de su importancia, la fertilización de cultivos en el sureste de España se suele realizar atendiendo principalmente a los requerimientos de nitrógeno (N), fósforo (P) y



potasio (K), mientras que Mg y Ca desempeñan un papel secundario. Esto se justifica por la elevada concentración de Mg y Ca en las aguas convencionales tradicionalmente utilizadas para riego y por la concentración mineral en los suelos del sureste de España que pueden suministrar gran parte o incluso la totalidad de las necesidades de Mg y Ca de los cultivos (Tabla 2).

Sin embargo, el AMD se caracteriza por una concentración de Ca y Mg reducida pues los procesos de osmosis inversa no sólo separan los elementos no deseables sino también estos nutrientes considerados esenciales para los cultivos (Yermiyahu et al., 2007). En este sentido, la sustitución de recursos hídricos naturales por AMD para riego expone a los cultivos a carencias nutricionales que pueden limitar su crecimiento (Yermiyahu et al., 2007; Avni et al., 2013), pues las concentraciones de Ca y Mg resultan notablemente insuficientes para satisfacer los requerimientos nutricionales de los cultivos. Por lo tanto, el riego con AMD puede generar deficiencias nutricionales y afectar de forma relevante al rendimiento de los cultivos y a la calidad de las cosechas. Así, las deficiencias en Ca pueden perjudicar el crecimiento de brotes y raíces (Yermiyahu et al., 2007). El Mg es fundamental para la fotosíntesis y la síntesis de proteínas en plantas, así el riego con aguas de bajo contenido en Mg produce una disminución de su contenido en hoja que afecta a la producción de clorofila, resultando finalmente en una carencia de nutrientes fundamentales y en peor calidad de los frutos producidos (Birnhack y Lahav, 2007). Estos problemas ya se están presentando en zonas agrícolas de Israel, donde se ha sustituido el agua de origen natural por agua desalinizada y remineralizada proveniente de la planta de Ashkelon, apareciendo síntomas de carencia nutricionales en los cultivos que han producido reducciones significativas en su calidad y producción (Yermiyahu et al., 2007). Por consiguiente, para garantizar el correcto desarrollo de los cultivos, se deben de llevar a cabo estrategias de manejo para remineralizar el AMD en Ca y Mg como (i) procesos de postratamiento en las IDAMs mediante dosificación con lechada de cal, lechos de calcita o dolomía, etc, (ii) mezcla de AMD con otras aguas con concentración mineral más elevada, como son las aguas continentales, subterráneas o regeneradas, para alcanzar concentraciones iónicas que minimicen el coste de la adaptación del AMD o (iii) adaptación de los programas de fertilización al riego con AMD. En el ensayo experimental de DESEACROP se ha realizado la opción (iii) para prevenir carencias de nutrientes.

**Tabla 2.** Comparación entre los requerimientos nutricionales típicos en Ca y Mg para cultivos representativos en el sureste de España y la concentración típica en agua convencional y agua marina desalinizada en el sureste de España



Ion	Melón <sup>a</sup>	Lechuga <sup>b</sup>	Tomate <sup>a</sup>	Limón <sup>c</sup>	Melocotón <sup>d</sup>	Agua convencional	AMD
Ca (mg/L)	37	16	100	2	12	90-110	18-22
Mg (mg/L)	19	7	40	1	6	35-45	1,5-2,5

<sup>a</sup> [www.agroalimentarias.coop](http://www.agroalimentarias.coop); <sup>b</sup> Benavente-García y López-Marín (2003); <sup>c</sup> Soria-Alonso (2008); <sup>d</sup> Rincón (2010).

### 2.3. Iones fitotóxicos: Cl, Na, B

El suelo y los cultivos se encuentran expuestos directamente a la toxicidad por Cl, Na y B. En el caso de las plantas, su acumulación sobre los límites establecidos puede tener efectos negativos sobre los procesos metabólicos y los tejidos de los cultivos, lo que provoca una reducción de su rendimiento (Grattan et al., 2015). La fitotoxicidad es acumulativa y por lo tanto, la mayoría de los huertos y cultivos leñosos muestran sensibilidad a altas concentraciones de Cl, Na y B, mientras que los cultivos estacionales, principalmente hortícolas, son bastante menos sensibles (Maas y Grattan, 1999).

El AMD generalmente presenta una elevada concentración de Cl y Na, ya que, alrededor del 55% y el 31% del contenido de sal en el agua de mar se debe a estos iones que siguen predominando en su composición tras el proceso de osmosis inversa. Además, presenta una elevada concentración de B debido a su elevada concentración en el agua marina (4,5 – 6 mg/L) comparada con las aguas convencionales (generalmente muy próxima a 0 mg/L en las aguas superficiales y hasta 1,5 mg/L en las aguas subterráneas) y a la permeabilidad de las membranas de osmosis inversa al paso del B en medios neutros y ácidos (Raveh y Ben-Gal, 2016). De hecho, mientras que la eficacia de separación en una etapa de las membranas de osmosis inversa es superior al 98% para los iones Na, Mg, Ca, K, Cl y SO<sub>4</sub>, para el caso del B la eficacia solo alcanza un 71% (Martínez 2009).

En el caso del Na, solo se han identificado en la bibliografía umbrales tóxicos para el caso de los cítricos (tolerancia máxima de 115 mg/L en el agua del suelo). La concentración de Na en las IDAMs del sureste de España varía entre 76 y 115 mg/L, valor que garantiza la no fitotoxicidad en todos los cultivos. En el caso del Cl, para los cultivos leñosos más representativos del sureste de España se han identificado umbrales tóxicos medios de 250 mg/L en el agua de riego. Este umbral es muy superior a los valores registrado en el AMD (140 - 182 mg/L), por lo que, al igual que ocurre con el Na, la clorosis no representa un riesgo de daño en los cultivos suministrados

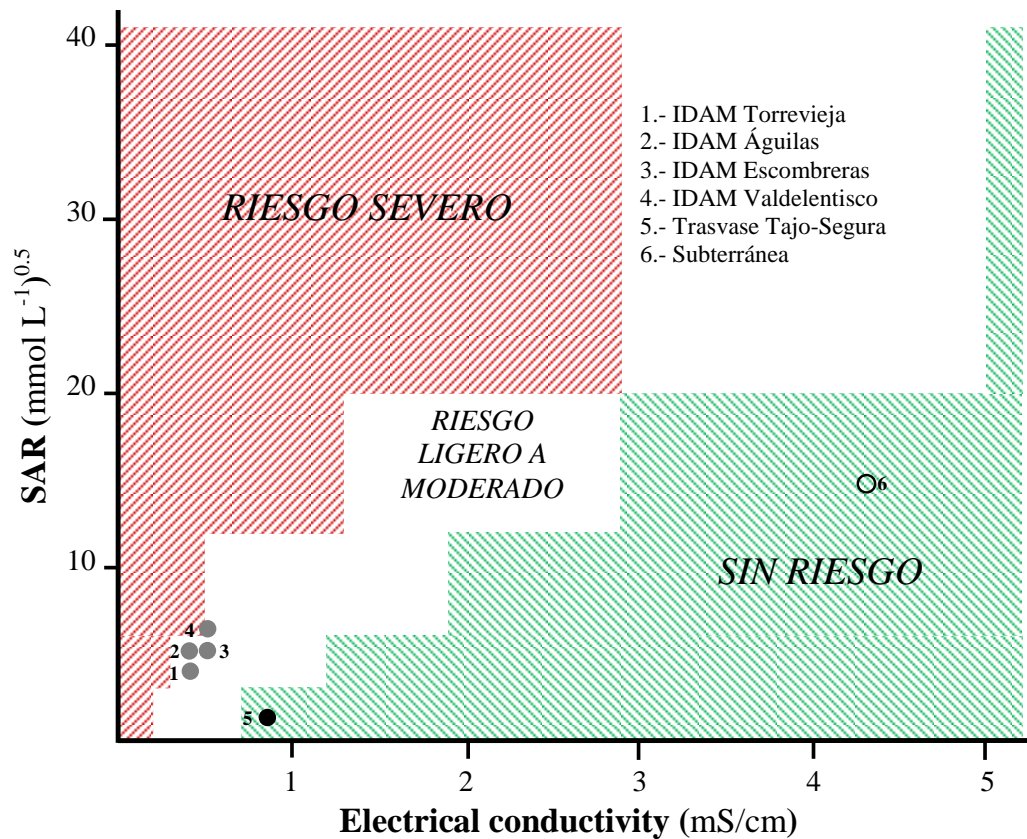




con AMD. En el caso del B, los problemas de fitotoxicidad se describen ampliamente en el entregable A1.1. de DESEACROP.

#### **2.4. Riesgo de sodicidad del suelo**

Los cultivos requieren tener en el suelo un adecuado equilibrio entre humedad y aireación, que está directamente relacionado con la estructura del suelo. La alta concentración de Na, además de la toxicidad directa para los cultivos, puede dañar las propiedades físicas del suelo en forma de dispersión de arcilla que conduce a: (i) colapso estructural de los agregados del suelo, (ii) disminución de la conductividad hidráulica del suelo, (iii) problemas de erosión, (iv) compactación del suelo, y (v) disminución de la aireación del suelo (Mandal et al. 2008; Muyen et al. 2011). El riesgo de sodicidad del suelo se reduce si los cationes divalentes (principalmente Ca y Mg) también están presentes en el agua de riego. En este sentido, la relación entre la relación de adsorción de sodio (RAS), que depende del equilibrio de concentraciones de Na respecto a las de Ca y Mg en el agua de riego, y la  $CE_a$  permite analizar el riesgo de sodicidad de un suelo a medio y largo plazo (Ayers y Westcot, 1985). La Figura 2 presenta, el riesgo potencial de sodicidad del suelo mediante la relación de adsorción de sodio (RAS) y la conductividad eléctrica ( $CE_a$ ) para varias IDAM del sureste español.



**Figura 2.** Riesgo de alcalinización del suelo por el riego con agua marina desalinizada de las plantas desaladoras, junto a la de otros suministros convencionales del sureste español.

La composición química del AMD en el sureste de España presenta concentraciones bajas de Ca y Mg y altas de Na, lo que resulta en RAS de entre 4 a 5,6  $[\text{mmol/L}]^{0.5}$ . La representación de estos valores en la Fig. 2, junto con el  $\text{CE}_a$  de cada AMD, indica un moderado riesgo de sodicidad del suelo para todos IDAMs, lo que podría causar una notable reducción de la tasa de infiltración a medio plazo y los procesos de difusión de oxígeno atmosférico a través de los suelos (Ayers y Westcot, 1985). Estos resultados contrastan con la representación del agua procedente del trasvase Tajo-Segura o de las aguas subterráneas del campo de Cartagena que se encuentran en la región sin riesgo. Esta circunstancia justifica de nuevo las estrategias de mezcla de agua para reducir o mitigar el riesgo de sodicidad del suelo cuando se riega con AMD. En cualquier caso, se recomienda el monitoreo frecuente del suelo para detectar cualquier deterioro de la



estructura del mismo cuando se utiliza AMD para el riego de cultivos, especialmente en suelos con alto contenido de arcilla, donde el riesgo de sodicidad puede ser más relevante.

## 2.5. Capacidad tampón

La alcalinidad es una medida estandarizada de la capacidad tampón del agua, es decir, la capacidad cuantitativa de las bases en el agua para neutralizar ácidos. Aguas con baja alcalinidad son muy sensibles a los cambios en el pH, mientras que conforme la alcalinidad aumenta la capacidad del agua para adaptarse a los cambios de pH aumenta, ampliando su capacidad tampón. Estas bases son principalmente el bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) y carbonato ( $\text{CO}_3$ ). La alcalinidad generalmente se expresa como la concentración equivalente de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). La alcalinidad también está directamente relacionada con la dureza del agua, que está determinada por la concentración de cationes multivalentes, principalmente Ca y Mg, en el agua.

El permeado de la osmosis inversa; *i.e.* AMD, se caracteriza por un pH, alcalinidad y dureza del agua muy bajos ya que las membranas son muy eficientes en la eliminación de bicarbonatos y carbonatos. Cuando se suministra AMD para el riego de cultivos, se recomiendan altos valores de alcalinidad para: (i) minimizar la corrosión en los sistemas de distribución, donde son muy frecuentes elementos metálicos como válvulas operativas y dispositivos, (ii) reducir la descarga de iones metálicos en el agua para evitar la oxidación de la tubería que resulte en mayores pérdidas de carga y (iii) estabilizar el pH del agua a nivel de parcela donde se aplican fertilizantes de reacción ácida y básica (Lahav et al., 2009). Esta última opción es la utilizada en DESEACROP para controlar los valores de alcalinidad.

En fertirrigación y cultivos hidropónicos, con y sin sustrato, el flujo de AMD está sujeto a la adición de fertilizante al agua de riego, fertirrigación, y los cambios repentinos en el pH podrían tener un impacto notable en la disponibilidad de nutrientes para los cultivos y, en última instancia, en la productividad agrícola (Figura 1). En este contexto, una suficiente capacidad tampón del AMD es especialmente relevante, sobre todo cuando se manejan suelos o sustratos con baja capacidad tampón. Además, en regímenes de regadío con aguas naturales convencionales intensamente alcalinizadas, como ocurre en el sureste de España, la formación de escamas de  $\text{CaCO}_3$  es muy frecuente, y un cambio a aguas de baja alcalinidad podría



desprender estos depósitos, afectando el funcionamiento de válvulas, filtros y caudalímetros, entre otros, y además provocar daños en las tuberías.

### **3. RECOMENDACIONES DE GESTIÓN SOSTENIBLE**

En los apartados anteriores se han presentado las principales ventajas e inconvenientes del riego con AMD. La calidad del AMD producida en las IDAMs puede ser muy variable dependiendo de múltiples aspectos, entre los que se encuentran, el tipo de tecnología empleada en la osmosis inversa, el estado de conservación de las membranas, el número de etapas de la planta o los postratamientos de remineralización aplicados. Por lo tanto, para el uso sostenible del AMD en el riego agrícola se requiere de una completa caracterización físico-química y de los posibles rangos de variación en la concentración de sus componentes. Además, si a lo largo del sistema de distribución el AMD se mezcla con otras fuentes disponibles, estas deberán ser igualmente caracterizadas para poder optimizar su gestión, y ofrecer así al agricultor un agua de características homogéneas, o al menos conocidas, a lo largo del tiempo. En este sentido, uno de los aspectos más importantes es considerar las deficiencias y excesos minerales en el agua de riego que se pueden producir tanto por un suministro constante de agua de bajo contenido mineral como por un suministro compuesto de fuentes de calidad o contenido mineral irregular, respectivamente.

En el primer caso, cuando el suministro de AMD, deficitario en nutrientes esenciales, es el único disponible, existen varias opciones de afrontar el problema. En primer lugar, el problema se podría afrontar mediante la programación de postratamientos adecuados en las IDAMs. Esto garantizaría la adición de los minerales necesarios para el riego agrícola y una homogeneidad a lo largo del tiempo en las características del AMD. De esta forma, el agricultor podría ajustar sus programas de fertirrigación sin modificaciones sustanciales de sus instalaciones de riego. En segundo lugar, otra opción sería remineralizar el AMD mediante la reprogramación de la fertirrigación a escala de parcela. Finalmente, el AMD puede mezclarse a nivel de parcela con otras aguas continentales de mayor mineralización, lo que puede conducir a un ahorro significativo en el uso de fertilizantes, ya que las necesidades de remineralización podrían reducirse e incluso eliminarse en algunos casos. Para estas opciones, la homogeneidad en cuanto a calidad del AMD suministrada es de notable importancia para el agricultor, ya que si la calidad del agua es variable deberá dotar su explotación de los medios necesarios para el seguimiento de la calidad del agua suministrada y el rápido ajuste de su sistema de fertirrigación.



También hay que destacar que la remineralización representa un coste adicional, donde puede variar el agente que lo asume, productor o suministrador de AMD al agricultor.

En el segundo caso, lo habitual es que las Comunidades de Regantes dispongan de diferentes fuentes variables de suministro de agua (agua superficial, agua regenerada, AMD, etc.) que contienen diverso contenido mineral. En este contexto, la composición final de agua de riego será probablemente irregular, con continuas variaciones en su contenido mineral a lo largo del tiempo. Esta situación obliga a la práctica de una gestión del agua en parcela complicada, ya que el agricultor necesita disponer de información precisa sobre el contenido mineral del agua que recibe en cada momento para proceder a una constante adaptación de sus programas de fertirrigación. Además, el agricultor debe asumir un riesgo adicional, ya que la carencia de información adecuada para la fertirrigación puede conducir a la aplicación de excesos minerales cuando se asuma que el contenido mineral del agua sea bajo y, en cambio, sea suficiente.

Por lo tanto, la incorporación de AMD al riego agrícola conlleva un importante aumento de la capacidad de control y gestión del agua de riego en parcela. Los sistemas de control y de fertirrigación utilizados en DESSEACROP permiten para hacer frente a un agua de riego con unas necesidades nutricionales variables. Se recomienda disponer de sistemas con balsas de regulación de riego en parcela, sistemas de monitorización de la calidad del agua y sistemas de inyección de fertilizantes de rápida respuesta.

#### **4. IMPACTOS EN SUELO, PLANTA Y FRUTO OBSERVADOS EN EL ENSAYO EXPERIMENTAL**

A continuación, se presentan resultados preliminares correspondientes a los ciclos 1 y 2 de cultivo de tomate en el invernadero experimental de DESEACROP. Las características de los tratamientos T1, T2 y T3 se detallan en el entregable DB2.1.

##### **4.1. Suelo**

En el tratamiento T1 (AMD+fertilizantes) se produce una disminución de la CE del suelo a lo largo del ciclo, lo que muestra un lavado de sales en este tratamiento, mientras que en los tratamientos T2 y T3, (agua salobre +fertilizantes) se produce una ligera salinización de los suelos. Se ha observado que el incremento de la salinidad afecta al comportamiento de la  $CE_e$  y la concentración de CL, Na,  $SO_4$  y Mg solubles, no afectando a la concentración de  $NO_3$ , B, Ca y K solubles.



En relación al PSI, en los tres tratamientos se observa un incremento alcanzando porcentajes del 12% para el T1 a final de ciclo, y valores cercanos al 18% para en el tratamiento T2, al 21% en el tratamiento T3, lo que indica que el sodio está siendo retenido en el complejo de cambio causando un riesgo de inestabilidad de la estructura del suelo, especialmente en el tratamiento T3.

En cuanto al contenido en carbono orgánico e inorgánico y la capacidad de intercambio catiónico del suelo, el uso de AMD no ha afectado negativamente a estos parámetros.

#### 4.2. Planta

El Ca es el único macronutriente cuyas concentraciones son ligeramente superiores los tratamientos en suelo que en hidropónico, con valores que se pueden catalogar como normales, ya que en todos los casos están en el rango 20-35 g/kg, a excepción del T3 en hidropónico que serían bajas (<20 g/kg).

En relación a la evolución de la concentración de los elementos potencialmente fitotóxicos (cloruros, sodio y boro) en los tres tratamientos se observó:

- Cl: las concentraciones de cloruro son superiores en suelo que en hidropónico, con ligeros incrementos entre tratamientos en los dos sistemas de cultivo. Las concentraciones registradas en hidropónico (<10 g/kg) no suponen un efecto significativo en el desarrollo del cultivo, a excepción del tratamiento T3, que junto con las concentraciones halladas en el cultivo en suelo en todos los tratamientos (>30 g/kg), pueden ocasionar una reducción del 40% en el peso de la planta.

- Na: las concentraciones de sodio son ligeramente superiores en el cultivo en suelo que en hidropónico, con diferencias entre tratamientos en ambos sistemas de cultivo, aumentando en los tratamientos T2 y T3. En todos los casos, las concentraciones de sodio superan 1g/kg, límite máximo de concentración de suficiencia para el cultivo de tomate, alcanzando concentraciones cercanas a 3 g/kg en los tratamientos T2 y T3.

- B: las concentraciones de boro son semejantes tanto en el cultivo en suelo que en hidropónico, siendo en todos los tratamientos elevadas (>100 mg/kg) en el final del cultivo y ligeramente altas (aprox. 80 mg/kg) en el muestreo intermedio.

#### 4.3. Fruto



El incremento de la salinidad del agua aumentó el nivel de materia seca, sólidos solubles totales y acidez de los frutos en el primer ciclo de cultivo (otoño). Sin embargo, dichas observaciones fueron probablemente enmascaradas en el segundo ciclo (primavera) por la mayor maduración de los tomates del ciclo 2, como muestra el índice de madurez y color del fruto.

Se observó la tendencia de un mayor color en los tomates con riego T3 en suelo hidropónico, lo cual puede ser visible percibido por el consumidor de acuerdo con los análisis sensoriales realizados.

La firmeza del tomate también fue mayor en aquellas plantas regadas con el tratamiento T3 con suelo hidropónico, lo cual también sería positivamente apreciado por el consumidor según las evaluaciones sensoriales realizadas.

La calidad microbiológica fue buena con niveles inferiores a 4 log CFU cm<sup>-2</sup> (y 6 log en el caso de mesófilos), no afectando negativamente el tipo de riego o suelo a su carga microbiana.

El cultivo en suelo hidropónico indujo un mayor contenido de vitamina C, mostrando en particular el riego T3 del corte 4 (ciclo 1) los mayores niveles.

El contenido de compuestos fenólicos, así como su capacidad antioxidante total, fue mayor en los tomates del ciclo de otoño comparados el de primavera. Ni el tipo de riego ni tipo de suelo afectaron negativamente al contenido de estos compuestos bioactivos. Además, el contenido de licopeno y  $\beta$ -caroteno tampoco se vio afectado negativamente por el tipo de riego o suelo.

## **BIBLIOGRAFIA**

AVNI, N., EBEN-CHAIME, M., ORON, G. (2013). Optimizing desalinated seawater blending with other sources to meet magnesium requirements for potable and irrigation waters. *Water Research*, 47, 2164–2176.

AYERS, R.S., WESTCOT, D.W. (1985). *Water quality for agriculture*, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

BENAVENTE-GARCÍA, A.G., LÓPEZ-MARÍN, J. (2003). *La lechuga en la Región del Murcia y otras comunidades autónomas. Serie técnica y de estudios*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia – Consejería de Agricultura, Agua y Medio ambiente. 188 pp.

BIRNHACK, L., LAHAV, O. (2007). A new post-treatment process for attaining Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and alkalinity criteria in desalinated water. *Water Research*, 41, 3989–3997.



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.

LAHAV, O., SALOMONS, E., OSTFELDA, A. (2009). Chemical stability of inline blends of desalinated, surface and ground waters: the need for higher alkalinity values in desalinated water. *Desalination*, 239, 334–345.

MAAS, E.V., HOFFMAN, G.J. (1977). Crop salt tolerance—current assessment, *Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE* 103, 115–134.

dal, U.K., Bhardwaj, A.K., Warrington, D.N., Goldstein, D., Tal, A.B., Levy, G.J. (2008). Changes in soil hydraulic conductivity, runoff, and soil loss due to irrigation with different types of saline-sodic water. *Geoderma*, 144, 509–516.

MARTÍNEZ, D. (2009). Las aguas de mar desaladas en la agricultura. Capítulo VIII en “Desalación de aguas. Aspectos tecnológicos, medioambientales, jurídicos y económicos”. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua, Murcia.

MUYEN, A., MOORE, G.A., WRIGLEY, R.J. (2011). Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*, 99, 33–41.

RAVEH, E., BEN-GAL, A. (2016). Irrigation with water containing salts: evidence from a macro-data national case study in Israel. *Agricultural Water Management*, 170, 176–179.

SORIA-ALONSO, A. (2008). La fertirrigación del limonero. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia – Consejería de Agricultura y Agua. 28 pp.

YERMIYAHU, U., TAL, A., BEN-GAL, A., BAR-TAL, A., TARCHITZKY, J., LAHAV, O. (2007). Rethinking desalinated water quality and agriculture. *Science*, 318 920–921.