

Uso de agua desalada en el riego de cultivos intensivos

De entre todas las técnicas de desalación, la más interesante para la agricultura es la ósmosis inversa

Las zonas áridas, como es el caso del sudeste español, donde la actividad agraria ha alcanzado un gran desarrollo en las últimas décadas, actualmente se enfrentan a un grave problema debido a la disminución de los recursos hídricos disponibles, tanto en calidad, como en cantidad, y a la demanda creciente de los mismos. Por ello, es conveniente la búsqueda de alternativas para obtener agua para riego, en este caso, procedente de la desalación.

● A. Zapata, J. Martínez, J. Reca, y J.L. Callejón. Departamento de Ingeniería Rural. Universidad de Almería.

Según datos de la Confederación Hidrográfica del Sur y el Moptma (1995), en las dos principales comarcas productoras de cultivos hortícolas intensivos de la provincia de Almería, Campo de Dalías y Campo de Níjar, se estimaban unos déficits de agua de 115 y 75 hm³/año, respectivamente, en 1992. Estos déficits de agua se están compensando actualmente con la sobreexplotación de los acuíferos litorales. Este hecho está motivando el aumento progresivo de la concentración de sales en el agua de riego debido a la intrusión marina en los acuíferos. La merma de la calidad del agua de riego origina la disminución de la producción de los cultivos (Ayers y Westcot, 1987), especialmente en cultivos sensibles, como es el caso de la mayor parte de los cultivos hortícolas intensivos de invernadero del sudeste español.

Por otro lado, los recursos hídricos superficiales disponibles son escasos e irregularmente distribuidos. El déficit estructural de agua en Almería está motivando la búsqueda de fuentes alternativas de suministro de agua para los cultivos. Entre estas fuentes se encuentran la reutilización de aguas residuales depuradas, la desalación y los trasvases. En el Plan Hidrológico de la Cuenca Sur (1995), se prevén actuaciones en este sentido con el objetivo de conseguir unos recursos disponibles no convencionales (englobando en esta categoría la reutilización de aguas residuales y la desalación de aguas marinas y salobres) de aproximadamente 75 hm³/año en el año 2002. Teniendo en cuenta la proximidad del mar Mediterráneo, la desalación del agua del mar, o de acuíferos salinizados, se plantea como la alternativa más interesante para solucionar dicho problema. Sin embargo, su expansión se ha visto limitada por el elevado coste que supone este proceso, que solamente puede ser asumible por actividades de alta rentabilidad o especialmente prioritarias, como es el consumo humano.

Los orígenes de la desalación son antiguos (Zarza, 1998). Se tienen noticias de dispositivos teóricos ideados por los griegos, así como alambiques utilizados en Persia hacia el siglo III después de Jesucristo. Durante la Edad Media y el Renacimiento se perfeccionaron los dispositivos y así, durante los siglos posteriores, fue práctica común llevar destiladores en los barcos. En 1675 se registró la primera patente sobre desalación. A pesar de la antigüedad de sus orígenes, ha sido en las últimas décadas cuando la tecnología de la desalación ha experimentado un notable desarrollo.



Cultivo regado con agua desalada.

Según los datos facilitados por la *International Desalination Association* (IDA, 1994), el número de plantas desaladoras y el volumen de recurso desalado ha ido aumentando rápidamente, con una estimación de 9.000 unidades en todo el mundo y una producción de agua desalada de unos 19 hm³/día para 1993, de los que el 60% aproximadamente corresponde a aguas de origen marino. En España la capacidad desaladora en dicha fecha se cifraba en 320.000 m³/día, la mayor parte en Canarias.

El agua desalada se destina, fundamentalmente, a uso urbano e industrial por razones de coste. Sin embargo, en los últimos años se viene observando un incremento de su uso agrícola en explotaciones de pequeña superficie y elevada rentabilidad económica, dedicadas al cultivo intensivo de hortalizas.

1. Técnicas de desalación

La desalación de agua exige aportar la energía suficiente para separar las sales que contiene. Suponiendo que este proceso fuera reversible, desde el punto de vista termodinámico, la cantidad mínima de energía necesaria para separar las sales del agua es equivalente a la energía liberada cuando disolvemos dichas sales en la misma. Esta energía depende de la concentración de la disolución. Así, a modo de ejemplo, la energía teórica mínima para la desalación de un agua con un contenido de cloruro sódico de 35 g/L (equivalente a un agua de mar) es de 0,76 kWh/m³. En el caso de aguas salobres con menor concentración de sales, la energía mínima necesaria se reduce notablemente. Las técnicas de desalación exis-

tentes son, en la práctica, poco eficientes. Prueba de ello son los altos valores de energía consumida para desalar la unidad de volumen de agua, que oscilan entre 6 y 80 kwh/m³, según el procedimiento utilizado. Actualmente, estos consumos energéticos dan lugar a un elevado coste del agua desalada; sin embargo, la mejora del rendimiento energético de los actuales procesos podría suponer una importante disminución de dicho coste.

Se conocen varias técnicas para desalar agua, que se pueden clasificar de distintas formas en función de si implican el cambio de estado del agua o no, o bien en función de cuál sea el elemento que se extrae (Zarza, 1998 y Torres, 1999). Las técnicas o procesos más importantes se relacionan en el **cuadro I**.

1.1. Destilación

Existen diversos procedimientos para realizar la desalación del agua mediante destilación (Torres, 1999). Todos estos métodos se fundamentan en la separación del agua de la sal mediante su evaporación y posterior condensación del vapor de agua originado. Como el calor específico y el calor latente de evaporación del agua son elevados, es necesario aportar una gran cantidad de energía a la misma para su evaporación. Para mejorar la eficiencia energética de esta técnica se han desarrollado técnicas de destilación multietapa en las que se aprovecha la energía liberada en la condensación del vapor de agua.

1.2. Cristalización

Este proceso separa el agua de las sales mediante la congelación de la solución salina. Consiste en separar los cristales de hielo, constituidos por agua pura, que se forman cuando se alcanza el punto de congelación de la solución. Una vez separados los cristales de hielo, por fusión, se obtiene el agua pura. El rendimiento energético de este proceso es mayor que los de destilación debido a que la energía necesaria para la congelación del agua es inferior a la energía requerida para su evaporación. Sin embargo, la complejidad que supone la separación y el lavado de los cristales de hielo, han limitado su aplicación práctica.

Una característica común a este proceso y los anteriores, basados en el cambio de estado, es que su consumo energético es relativamente independiente de la concentración salina.

1.3. Ósmosis Inversa

La ósmosis es el proceso por el cual, cuando se ponen en contacto dos soluciones salinas, de distinta concentración, separadas por una membrana semipermeable, que permite el paso de las moléculas de agua e impide el de los iones, el agua se mueve espontáneamente desde la solución más diluida hasta la más concentrada, hasta equilibrar las concentraciones. El proceso de desalación mediante ósmosis inversa consiste, como su nombre indica, en invertir el sentido natural del movimiento del agua, de forma que se consigue el filtrado de una solución salina haciendo pasar el agua y no las sales a través de dicha membrana semipermeable. Este proceso exige el aporte de la energía necesaria para vencer el potencial osmótico de la solución. Esta energía se suministra sometiendo a la solución salina a una elevada presión mediante un equipo de impulsión. La presión a la que hay que someter la solución en la ósmosis inversa depende de la concentración de la misma, por lo



Cultivo mostrando daños en las hojas debido al uso de aguas salinas.

CUADRO I. PROCESOS DE DESALACIÓN.

PROCESOS	Con cambio de estado	Sin cambio de estado
Que extraen el agua	Destilación Cristalización	Ósmosis inversa
Que extraen las sales	Electrodialisis	

CUADRO II. CONSUMOS ENERGÉTICOS EN INSTALACIONES DE DESALACIÓN SEGÚN PROCESOS

PROCESO	Kwh/m ³
Ósmosis	6-12
Destilación multietapa	50-80
Cristalización	13

que el coste energético es tanto menor cuanto más diluida sea la solución.

En una planta de ósmosis inversa es fundamental y básico un pretratamiento apropiado del agua para conseguir una operación satisfactoria de la instalación. El pretratamiento consta de varias etapas (acidificación, decoloración y filtrado), con las que se persigue eliminar la existencia de actividad biológica y materias coloidales orgánicas e inorgánicas en el agua, ya que estas reducirían la vida útil de las membranas.

Una vez pretratada y filtrada, el agua pasa a las motobombas de alta presión que la inyectan en los módulos de ósmosis inversa a la presión necesaria para hacerla pasar por los mismos. No toda el agua inyectada en los módulos de ósmosis pasa a través de ellos y es desalinizada; una parte es rechazada en forma de salmuera (agua de una alta salinidad). Este subproducto vertido de forma incontrolada puede ser perjudicial para la calidad de los recursos subterráneos subyacentes.

1.4 Electrodiálisis

La electrodiálisis, igual que la ósmosis, utiliza también membranas semipermeables y selectivas al paso de los iones positivos o negativos. El agua salada se somete al efecto de un campo eléctrico. Éste motiva que los iones cargados positivamente (cationes) se desplacen hacia el electrodo negativo o cátodo y los iones cargados negativamente (aniones) se desplacen hacia el electrodo positivo o ánodo. Si entre el ánodo y el cátodo colocamos un par de membranas semipermeables se irá formando una zona de baja salinidad entre las dos membranas, que es separada del resto. Igual que en las plantas de ósmosis inversa, para prolongar la vida de las membranas, las plantas de electrodiálisis requieren un cuidadoso pretratamiento del agua de entrada. Actualmente, la electrodiálisis solamente se utiliza para desalar aguas salobres, de baja concentración salina.

La elección del método de desalación más adecuado exige tener en cuenta diversos factores, entre los que cabe destacar la salinidad del agua a tratar, el precio y la disponibilidad de la energía y la amortización de las inversiones a realizar.

En el **cuadro II** se ofrecen diferentes valores de consumo de instalaciones típicas en cada sistema (Morris y Hanbury, 1991). De

este cuadro se deduce que el proceso energéticamente más eficiente es el de ósmosis inversa, lo que justifica su mayor desarrollo en los países con un mayor precio de la energía. El coste mínimo del agua desalada, incluyendo los costes energéticos y de amortización de las instalaciones en plantas de gran tamaño (con una producción superior a 50.000 m³/día), se encuentra sobre las 100 pts./m³ (Torres, 1999). De este coste, el mayor porcentaje corresponde al término de energía (sobre el 45%). Estos datos están referidos a desalación de agua de mar, los costes energéticos de desalación por ósmosis inversa de aguas salobres se reducen en función de su concentración.

2. Desalación para uso agrícola. Situación actual y perspectivas

El uso de aguas salinas presenta una serie de consecuencias desfavorables para la producción. Entre éstas cabe destacar la pérdida de producción y el deterioro de la calidad de la misma, debido a la disminución de la disponibilidad del agua aplicada al cultivo al aumentar la concentración salina. Otra consecuencia importante es la toxicidad originada por exceso de algún ion determinado (Cl⁻, Na⁺, B, etc.), que suele afectar a toda la planta o bien localizar sus efectos en alguna parte de la misma, especialmente en la raíz y el cuello, debido al aumento de la cantidad de sales en superficie motivada por efecto del ascenso capilar a través de los intersticios de la matriz del suelo.

Para paliar los efectos negativos de la utilización de aguas salobres en el riego, existen diferentes técnicas de manejo del riego y del suelo. Entre éstas, se encuentra el incrementar la dosis de riego con el objetivo de evitar la acumulación de las sales en la zona radical del cultivo, lo que representa un consumo adicional y probablemente excesivo de agua. Otra medida consiste en aplicar los riegos con mayor frecuencia para evitar que las sales alcancen concentraciones excesivas en la solución del suelo. Esta medida es sencilla de llevar a la práctica si se dispone de un sistema de riego localizado, como es el caso de las explotaciones típicas de invernadero en Almería, pero problemática en caso contrario. Otra práctica que evita los efectos perjudiciales de la concentración de sales en la superficie del suelo es la utilización del enarenado, debido a que prácticamente elimina el ascenso capilar.

Cuando las medidas anteriores resultan insuficientes para mantener la productividad del cultivo en unos niveles razonables, el agricultor se ve obligado a cambiar de cultivo, seleccionando especies más tolerantes, como es el caso del tomate. Esta circunstancia ocasiona un incremento en la oferta de dichos productos y, por consiguiente, puede afectar a la rentabilidad del cultivo.

Ninguna de las medidas anteriormente indicadas resuelve totalmente el problema, lo que sí se produce con el uso de aguas desaladas. La productividad del agua en los cultivos hortícolas intensivos de Almería es muy alta, alcanzando valores de 1.300 pts./m³. Por el contrario, se estima que el coste medio del agua supone solamente un 4% sobre el total de los costes de cultivo, lo que representa un precio medio del agua de unas 16 pts./m³ (Corominas, 1999). En estas condiciones, se podría mantener la rentabilidad del cultivo aún con precios mayores del agua. Esta situación podría conseguirse si se emplea agua salobre para desalar, lo cual permite obtener recursos a un precio más bajo que en el caso de agua marina. Prueba de ello es el hecho de que, actualmente y a iniciativa privada, numerosos agricultores han instalado en sus explotaciones pequeñas plantas de desalación para mejorar la calidad del agua de riego de que disponen. Se prevé que continúe el desarrollo de este tipo de instalaciones en la zona.

Además de estas plantas desaladoras de pequeña capacidad



Vista de una instalación de ósmosis inversa.

para uso agrícola, en la actualidad se encuentran en fase de proyecto o ejecución diversas instalaciones de mayor tamaño destinadas a abastecimientos urbanos. Este es el caso de la desaladora con la que se prevé abastecer la ciudad de Almería, que está actualmente en construcción, con una capacidad de desalación de 50.000 m³/día. Estas plantas, aunque no generan recursos hídricos directamente destinados a la agricultura, indirectamente liberan otros recursos convencionales que pueden paliar parte de los déficits de agua para uso agrícola.

3. Conclusiones

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que la desalación, tanto de aguas salinas, como salobres, para uso agrícola es técnicamente viable. Sin embargo, desde el punto de vista económico solamente resulta interesante cuando se trata de cultivos intensivos, con elevada rentabilidad, como es el caso de los cultivos protegidos de Almería.

De las técnicas de desalación actualmente disponibles la más interesante para la agricultura es la ósmosis inversa, lo que explica su actual expansión. El gran problema de ésta última es la eliminación de la salmuera originada en el proceso, que debe ser controlada para evitar efectos no deseados en otros recursos y el medio ambiente en general.

Normalmente, las bajas eficiencias de las actuales técnicas de desalación hacen pensar que son susceptibles de mejora y que en un futuro cercano pueden abarataarse los costes unitarios de producción. Para mejorar las técnicas sería conveniente potenciar la investigación en estos temas. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Monografías FAO. Serie Riego y drenaje nº 29. Roma.
- Confederación Hidrográfica del Sur y Moptma. 1995. Plan Hidrológico de la Cuenca Sur. Dirección General de Obras Hidráulicas. Madrid.
- Corominas, J. 1997. Mejora de regadíos: actualización y futuro en el poniente almeriense, en Actualización de temas sobre horticultura almeriense, de Cuadrado y Fernández Eds. FIAPA y Junta de Andalucía. Almería.
- International Desalination Association (IDA). 1994. Worldwide Desalting Plants Inventory. Informe anual.
- ITGE. 1982. Estudio Hidrogeológico del Campo de Dalías. Almería.
- Morris, R.M. y Hanbury. 1991. Renewable energy and desalination: A review. New technologies for the use of renewable energy sources in water desalination. Atenas.
- Torres, M. 1999. La desalación de agua de mar, ¿Recurso hídrico alternativo?. Jornadas sobre el agua. Universidad de Almería.
- Zarza, E. 1998. Desalación. Encuentro Medioambiental Almeriense. Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería y Caja Rural de Almería.