



La desalación del agua con fines agrícolas

P. Ferrer Talón

SERVICIO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO AGRARIO

Al agua se la conoce como el disolvente universal. Todos los elementos que contiene el agua y que podemos poner de manifiesto mediante un análisis (calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, etc.) conforman el historial de la misma. A lo largo de su ciclo, el agua va atravesando o discurrendo por diferentes capas de suelo de las que va disolviendo los compuestos que allí encuentra. Estos compuestos (carbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, ... de calcio, magnesio, sodio, ...) son sales que pasan a formar parte del agua y dan lugar a la salinidad de la misma. Esta salinidad puede expresarse bien como contenido de sales disueltas en gramos/litro, bien mediante medidas de conductividad eléctrica (mmhos/cm o mSiemens/cm).

Cuanto mayor sea la cantidad de sales que lleve disuelta un agua, tanto mayor será su salinidad y, por tanto, su conductividad. Atendiendo al criterio de contenido de sales o salinidad, el agua puede clasificarse de la siguiente forma:

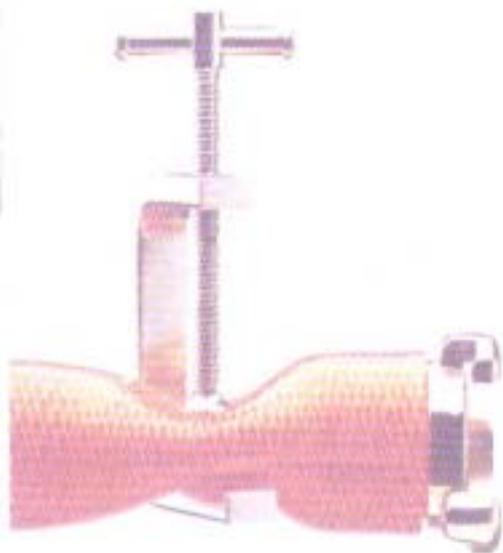
Tipo	Contenido en sales
dulce	0,3 - 3 gramos/litro
salobre	3 - 10 gramos/litro
muy salobre	10 - 30 gramos/litro
marina	más de 30 gramos/litro

Cuando deseamos eliminar parte de las sales que contiene el agua hay que recurrir a la **desalación** o **desalinización**, de ambas formas se denomina, y que podemos definir como la reducción, en un grado aceptable, de la cantidad de sales que contiene el agua.

Pero el agua en la naturaleza no sólo lleva sales disueltas, también arrastra en suspensión otros materiales y eso supone que, en muchos casos, previamente a la desalación habrá que eliminar contaminantes de tipo orgánico o biológico que acompañan al agua.

PROBLEMAS DEL AGUA

Del total del agua disponible en la Tierra el 97% se encuentra en los



Planta de ósmosis inversa.





Bacteria de membranas de ósmosis inversa.

mares y océanos, un 2% en forma de hielo en los Polos y en los glaciares y solamente el 1% restante podemos hallarlo como agua superficial y subterránea. De esta última parte, que es la que podría contar para el riego, ni toda ella está disponible (aguas subterráneas), ni es toda de aceptable calidad (aguas salobres).

En muchas zonas agrícolas el agua es el primer factor limitante de la producción. Esta limitación puede producirse tanto por efecto de la cantidad de agua disponible como por la

calidad, puesto que ambas tienen influencia sobre la producción.

Aunque unos lo padecen más que otros, es bien conocido el fenómeno de la escasez, que puede presentarse en cualquiera de sus dos formas:

- permanente o estructural, y
- temporal o coyuntural (sequía)

y que para poder paliarla se deben de tener en consideración dos caminos posibles:

- *disminuir las aportaciones* (ahorro de agua): evitando despilfarros, modernizando los regadíos existentes (revestimiento y mejora de las redes de acequias, riego localizado, ...).

- *aumentar las disponibilidades*: intensificando la explotación de aguas subterráneas, importando recursos (trasvases), aprovechando las aguas residuales y desalando las aguas salobres y marinas.

Cuando se presenta un problema de escasez de agua para usos agrícolas, las primeras medidas suelen ir encaminadas a optimizar su consumo, bien evitando pérdidas y despilfarros, bien con la implantación

nuevas tecnologías de riego, como los métodos de riego localizado. Pero cuando el déficit hídrico se agudiza y los recursos superficiales comienzan a escasear se recurre a una explotación de las aguas subterráneas, convirtiéndose en muchos casos en sobreexplotación, lo que ha llevado a la contaminación de muchos acuíferos, ya sea por intrusión marina o al profundizar los pozos alcanzando zonas salinas existentes más abajo.

Como consecuencia de esta situación, el agua es cada vez de peor calidad y está a mayor profundidad, cosa que motiva unos mayores costos de bombeo y mantenimiento, así como un descenso en el rendimiento de los cultivos por efecto del aumento de la salinidad.

Cuando las otras medidas de lucha han sido utilizadas es cuando comienza a considerarse la desalinización como solución al problema creado.

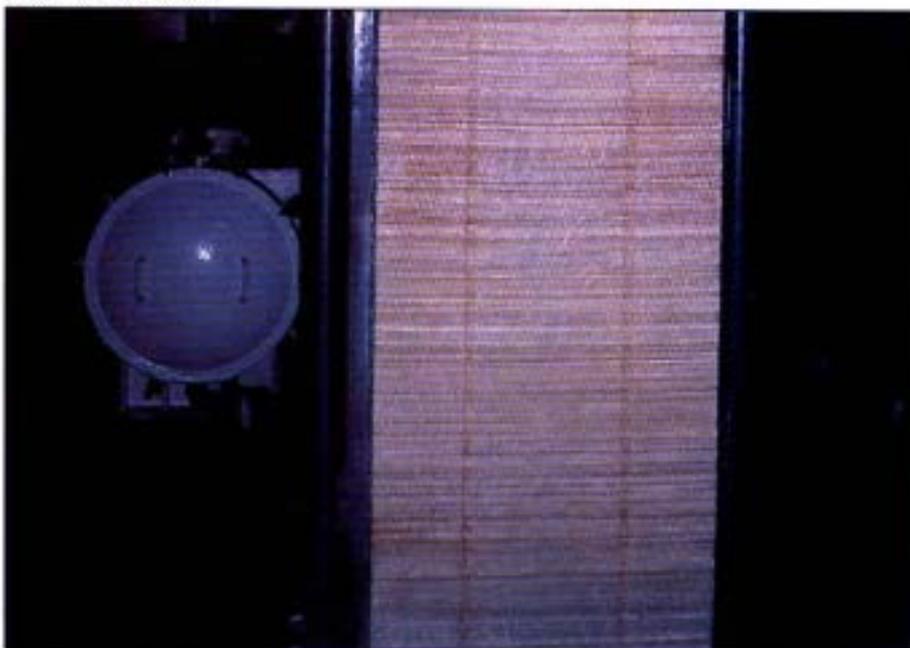
De todas las posibilidades que existen de aumentar las disponibilidades de agua, la desalación o desalinización es la menos importante cuantitativamente. No debe de considerarse nunca como una solución de tipo general a los problemas de escasez ya que suele resolver problemas puntuales por medio de la mejora de la calidad del agua, pero naturalmente, allí donde se aplica resuelve un problema.

EL FENÓMENO DE LA ÓSMOSIS

En la absorción de agua y de sales por las raíces de las plantas interviene la ósmosis. El nombre de ósmosis deriva de la palabra griega *osmos*, que significa la acción de empujar.

Este fenómeno se produce con ciertas membranas celulares, llamadas semipermeables, que permiten el paso del agua pero no el de los sólidos.

Detalle de la membrana.



dos disueltos: Si a un lado de la membrana hay agua y al otro una disolución (agua con sólidos o sales disueltos), el agua pasa a través de la membrana mientras que, en sentido contrario, las partículas de la disolución no pueden atravesarla, sólo puede hacerlo el agua de la disolución. Este fenómeno también se produce cuando a ambos lados de una membrana de este tipo existen disoluciones de distinta concentración, que es lo que generalmente sucede en la naturaleza.

Imaginemos una célula vegetal que está en contacto con la solución del suelo, que es el agua del suelo con las sales y fertilizantes disueltos. Generalmente, los jugos celulares del interior de la célula tienen una concentración mayor que la solución del suelo y, gracias al fenómeno de la ósmosis, el agua pasará de la solución del suelo al interior de la célula a través de la pared celular, que es una membrana semipermeable. Si la solución del suelo tiene una mayor concentración (hay más sales), próxima a la concentración de los jugos celulares, la célula tendrá dificultades de absorción de agua ya que, debido al fenómeno de la ósmosis, pasará poca agua de la solución del suelo al interior de la célula. Pero si la concentración salina de la solución del suelo es muy alta, superior a la de los jugos celulares, será el agua de la célula la que pase a la solución del suelo, pudiendo llegar a ocasionar la muerte de la célula.

Estos fenómenos de ósmosis tienen una gran importancia en la regulación de los intercambios a través de las membranas de las células y, en consecuencia, en el desarrollo y mantenimiento de la vida.

TÉCNICAS DE DESALACIÓN

Existen, a nivel comercial, diversos métodos y técnicas para llevar a

cabo la desalinización que podemos agrupar en dos tipos:

a) **con cambio de fase**, es decir el agua cambia del estado líquido al de vapor y vuelve de nuevo al estado líquido. Dentro de este grupo se incluyen la destilación multietapas, destilación multietapas con evaporación súbita y la compresión de vapor. Generalmente se utilizan en instalaciones para el abastecimiento de grandes núcleos de población, generalmente complejas y que requieren grandes inversiones.

b) **sin cambio de fase**, el agua permanece en estado líquido durante todo el proceso. Existen tres métodos distintos: intercambio iónico, electrodiálisis y ósmosis inversa. Los dos últimos son los de uso más frecuente en agricultura.

Sea cual sea el método empleado hay que considerar el **factor de conversión, recobro, o recuperación** de una planta desaladora, que es la proporción del agua de alimentación o agua bruta que se convierte en agua desalinizada o permeado, originando una salmuera o rechazo, que es lo que queda del agua de alimentación después de pasar por el proceso de desalación. Por regla general cuanto

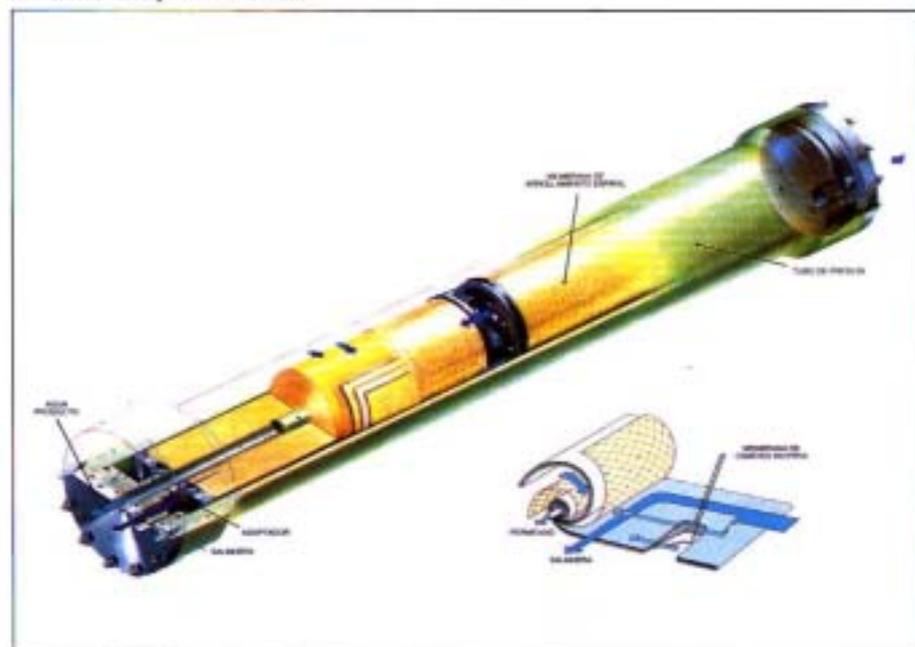
mayor es la salinidad de un agua, menor será el porcentaje de recuperación. Los valores de recobro pueden variar desde un 30%-45% para plantas desaladoras de agua de mar hasta el 70%-90% para aguas salobres, dependiendo de la cantidad de sales a eliminar y del método empleado.

Las técnicas para la eliminación de sales del agua para riego más ampliamente utilizadas hoy en día, electrodiálisis y ósmosis inversa, están basadas en el uso de membranas, aunque con propiedades distintas. Veamos cuales son los fundamentos de cada uno de estos sistemas.

OSMOSIS INVERSA (O.I.)

En la ósmosis natural a través de membranas semipermeables el agua pasa de la zona de menor concentración a la de mayor concentración de sales. No obstante es posible conseguir, aplicando energía en forma de presión de manera que se sobrepase la presión osmótica, que el agua vaya de la zona de mayor concentración salina a la de menor. La cantidad de agua que podrá atravesar la membrana estará en función de la di-

Interior de tubo portamembrana.



ferencia de presión entre la aplicada y la presión osmótica de la solución. Este es el fenómeno que se conoce con el nombre de *ósmosis inversa*, ya que por efecto de la presión se invierte el sentido natural de la ósmosis (fig. 1).

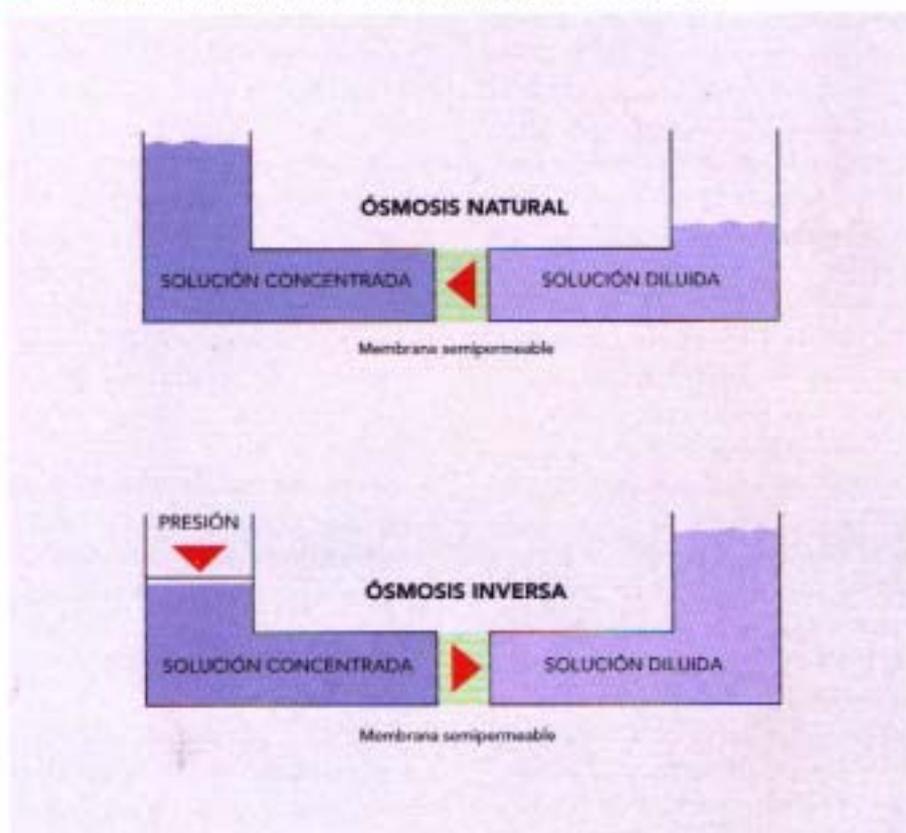
Basándose en ese efecto la industria ha desarrollado membranas semipermeables sintéticas de forma que, aplicando una solución salina a presión sobre ellas, permitan el paso solamente de agua y unas pocas sales quedando el resto retenidas en la solución original, que al perder parte del agua se concentra y aumenta por tanto su salinidad. De esta forma se obtiene un agua producto, de baja salinidad y un concentrado o salmuera, de elevada salinidad, que hay que eliminar.

ELECTRODIÁLISIS (E.D.)

Las sales al disolverse en el agua ya no se mantienen como un compuesto (moléculas), sino que se disgregan en elementos con carga eléctrica denominados *iones*. Así p. ej. el sulfato cálcico (yeso) al disolverse en agua se convierte (disocia en lenguaje químico) en iones sulfato y en iones calcio. Los iones pueden ser de dos tipos, los denominados *cationes*, que poseen carga eléctrica positiva, y los *aniones*, con carga eléctrica negativa. Ejemplos de los primeros son el catión calcio, el magnesio, el hierro, el sodio, mientras que entre los aniones se encuentran p. ej. el cloruro, bicarbonato, nitrato, sulfato, etc. Las cargas eléctricas tienen una serie de propiedades o características entre las que interesa destacar que, si son del mismo tipo o signo (ambas positivas o ambas negativas) se repelen, mientras que si son de signos distintos (una positiva o catión y una negativa o anión) se atraen.

La electrodiálisis es un proceso de separación basado en las propie-

FIGURA 1. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA ÓSMOSIS



dades electroquímicas de cierto tipo de membranas. Estas membranas, cargadas eléctricamente, permiten separar los iones cuando se aplica una corriente eléctrica que origina que los cationes (+) traten de acercarse al cátodo (-), mientras que los aniones (-) tratarán de desplazarse hacia el ánodo (+) (fig. 2). Membranas de dos tipos, unas que dejan pasar a los cationes y rechazan los aniones y otras, al contrario, que permiten el paso de los aniones y rechazan los cationes, originan la pérdida de las sales de una parte del agua suministrada.

Al contrario de lo que sucede en la ósmosis inversa, aquí lo que atraviesa las membranas son los iones y no el agua. Unas membranas dejan pasar los cationes y otras a los aniones. De esta forma parte del agua a desalar va perdiendo las sales (cationes y aniones), con lo que va disminuyendo su salinidad, mientras que otra parte de agua va recibiendo los iones y aumenta su salinidad.

Esta tecnología se complementó posteriormente con la realización, tres o cuatro veces por hora, de la inversión de la polaridad de la corriente eléctrica cambiando así la dirección del movimiento de los iones, lo que permite realizar una limpieza de las membranas. Este es el proceso que se conoce como Electrodiálisis Reversible (E.D.R.).

Al no estar estas membranas sometidas a presiones elevadas, la suciedad e impurezas que lleve el agua, si no tienen carga eléctrica, no ensucian tanto las membranas, cosa que permite utilizar aguas con más carga de suciedad que en la ósmosis inversa, en donde se taponarían las membranas si se utilizaran aguas sucias.

Si el agua tiene un grado algo elevado de salinidad hay que recurrir al empleo de varias unidades de electrodiálisis en serie, de forma que cada unidad elimine, aproximadamente, la mitad de las sales del agua que le entra hasta alcanzar la calidad deseada.

REQUISITOS

Cuando se piensa en desalar el agua hay que tener muy presente que no sólo hay que eliminar parte de las sales, sino también que son necesarios otra serie de procesos que pueden llegar a tener una gran influencia en el coste final del agua.

ALIMENTACIÓN

Evidentemente el agua hay que llevarla hasta la planta de desalación, bien sea por gravedad o bien mediante la correspondiente impulsión, caso de aguas subterráneas. Las tuberías y, en su caso, las bom-

bas y el consumo de energía han de tenerse en cuenta.

PRETRATAMIENTOS

El cometido de los pretratamientos es el de eliminar del agua que se suministra las sustancias que puedan impedir el adecuado funcionamiento de la instalación.

Los materiales en suspensión, tanto minerales (arenas, limos, arcillas) como orgánicos (algas, bacterias) fácilmente conducen al ensuciamiento de las membranas. Por tanto, si en el agua existen contaminantes de este tipo hay que recurrir al empleo de filtros de arena o de lecho mixto, carbón-arena, para eliminar

las materias en suspensión, con o sin adición de floculantes, etc. Como el tratamiento tiene que ser muy efectivo estas operaciones, en general, son complicadas y caras.

Además de los elementos en suspensión, las aguas a tratar pueden llevar disueltos una serie de iones (calcio, magnesio, hierro, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, bario) y compuestos sílice, ac. sulfídrico) que pueden dar origen a graves problemas en las membranas, aún a pequeñas concentraciones, y que hay que tratar para reducir o eliminar sus efectos perniciosos. Generalmente el tratamiento consiste en la adición de productos químicos, específicos para cada caso, lo que supone que serán necesarias bombas, depósitos y automatismos para la inyección de los productos.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para el funcionamiento de las instalaciones generalmente se requieren bombas de presión para la circulación del agua, que en el caso de ósmosis inversa requerirán ser de alta presión, trabajando entre 15 y 70 kg./cm², según casos y condiciones.

Conforme transcurre el tiempo las membranas van perdiendo eficacia como consecuencia de las incrustaciones y de los sedimentos. Son pues necesarias operaciones periódicas de limpieza de las mismas, así como de puesta a punto de las instalaciones.

VERTIDO DE SALMUERAS

El desecho, en un proceso de desalación de agua, es un fluido con una alta concentración de sales que se denomina salmuera. Debido a la alta concentración, entre 5 y 40 gramos por litro, son susceptibles de contaminar cualquier medio sobre el que se viertan. Es este pues uno de los principales problemas con los que tropieza la instalación de plantas desaladoras. Cualquier proyecto de

Electrodialisis.



planta de este tipo necesita un estudio de impacto medioambiental y una autorización especial para el vertido de las salmueras, ya que su evacuación debe de ser considerada inocua. Podemos imaginar que el vertido al mar será inocuo, pero no sucede lo mismo con la evacuación a cauces naturales así como la inyección en el suelo hacia acuíferos subterráneos. Por tanto cuanto más nos alejemos de la costa, mayor será el problema y más difícil, costosa y cara será la solución para el vertido inocuo de la salmuera.

COSTOS

Una de las claves para la instalación de plantas desaladoras es, lógicamente, el precio final del metro cúbico del agua obtenida. Para el cálculo de este precio hay que considerar primero el del agua de alimentación, después el del proceso en sí y por último el de las obras que, necesariamente, han de acompañar a la planta de desalinización (balsas, depósitos, infraestructura, construcciones, suministro de energía, etc.).

Es difícil pues dar datos reales, ya que puede fácilmente comprenderse que dos aguas de la misma calidad pueden alcanzar un precio final distinto en función de factores tales como localización, disponibilidad de energía, facilidad para evacuación de los productos de deshecho, etc.

Puede ofrecerse una aproximación los costos del proceso de desalación, si bien el reparto de cargas entre las distintas operaciones es variable ya que depende de las características del agua utilizada,

Incidencia de las operaciones en el costo del proceso:

Pretratamientos	3% - 30%
Desalación	92% - 37%
Eliminación desechos	5% - 33%

Como cifras orientativas y con todas las salvedades que se deben establecer, el m³ de agua salobre puede oscilar entre 25 y 45 pta. mientras que el m³ de agua de mar costará por encima de 140 pta. No conviene olvidar que estas cifras corresponden solamente al proceso de desalación, lo que incluye amortización de la planta, productos químicos, reposición de membranas, consumo de energía y mantenimiento, pero no las obras, infraestructura, eliminación de salmueras, etc.

CONSIDERACIONES FINALES

La electrodiálisis reversible (E.D.R.) suele tener más aplicación en la desalación de aguas salobres y no de la de mar, pues cuando la salinidad es alta los costes de inversión y mantenimiento de este tipo de plantas suelen ser elevados. El sistema de electrodiálisis se adapta pues bien al caso de aguas de no muy alta salinidad, al tiempo que admite

aguas con una mayor carga contaminante. Por ejemplo, puede ser una técnica muy interesante para la disminución de la salinidad de aguas residuales procedentes de depuradoras, con el fin de hacerlas más aptas para el riego.

Por su parte la ósmosis inversa (O.I.) está indicada en los casos de salinidad alta, siempre que la carga contaminante no sea elevada.

Desalar es caro. Los cultivos agrícolas, salvo excepciones, no pueden soportar el coste del agua desalada, en cambio para el consumo humano es más asequible la factura de suministro con este tipo de agua, ya que las cantidades a consumir son pequeñas en relación a las que consume la agricultura. Tal vez una solución, en muchos casos, sea el recurrir al abastecimiento de agua para poblaciones mediante agua desalinizada, cosa que permitiría liberar para la agricultura los caudales y recursos de agua dulce utilizados actualmente para el abastecimiento humano.

FIGURA 2. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA ELECTRODIÁLISIS

