

# Tratamiento del agua para hortofruticultura

Ismael Delgado Caballero, Ramón Oliver Pujol, Francesc Estrany Coda

Diseño de una instalación de potabilización de agua por ósmosis inversa  
para una empresa hortofrutícola



## Situación actual del abastecimiento de agua de las empresas hortofrutícolas

Actualmente las empresas que se dedican a la comercialización y distribución de fruta fresca, conocen perfectamente el elevado nivel de exigencia en cuanto a pruebas de calidad se refiere. Los alimentos son debidamente seleccionados y sometidos a controles de calidad, entre los cuales se incluye el control del agua de lavado de las frutas y su cumplimiento de la normativa de aguas potables: Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero, por lo que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Por consiguiente, el consumo de agua de las empresas hortofrutícolas se eleva en función del volumen de fruta a distribuir, pero como norma general se trata de consumos de gran magnitud. Un coste importante de estas empresas sería el abastecimiento de agua por parte de las compañías, y para evitar este coste se explotan los pozos de propiedad. Inicialmente, los sondeos en busca de pozos se realizaban con el fin de obtener una fuente de abastecimiento de agua para el riego de los frutales y otros usos, pero con el paso del tiempo y para poder evitar los costes antes mencionados, la tendencia de las empresas hortofrutícolas es aprovechar y sacar de ellos el máximo rendimiento. El problema surge cuando el agua que proviene de los pozos no cumple con la normativa, ya sea debido a parámetros químicos o bien a parámetros microbiológicos.

En la *figura 1* se muestra gráficamente por qué el agua "dulce", al ser un bien tan escaso, y al mismo tiempo tan demandado, adquiera un coste elevado. El tratamiento de potabilización que se efectúe y adoptar los medios y recursos necesarios para optimizar los consumos, pueden ser factores claves en la reducción de costes de explotación para las hortofrutícolas.

A continuación se expone el caso concreto de una empresa hortofrutícola de la región de Extremadura: hasta la fecha, el agua de lavado de toda la fruta fresca es captada de un pozo particular que se encuentra al pie de las instalaciones y plantaciones de la empresa. El agua de este pozo presenta los parámetros relacionados en las *tablas 1* y *2*.

El resto de parámetros físico-químicos de los que se posee información analítica son:

pH:	8,2
Olor:	inapreciable
Sabor:	inapreciable
Turbidez:	0,23 UNF
Conductividad eléctrica:	< 2.500 $\mu$ S.cm <sup>-1</sup>

En la *tabla 1* se puede apreciar que hay una serie de parámetros que se encuentran fuera de rango admisible, según el RD 140/2003.

Por lo indicado, se considera realizar un proyecto de tratamiento del agua para potabilización, y dentro de las posibles tecnologías que se podrían aplicar, se opta por realizar un tratamiento basado en ósmosis inversa.

El primer paso a efectuar es determinar con la mayor exactitud el caudal a tratar. Ajustando este parámetro, se dimensionarán los equipos correspondientes y la inversión se ajustará a las necesidades reales de la empresa.

Se realizan una serie de proyecciones con soporte informático, el cual calcula en función del número de membranas de ósmosis inversa y el rechazo de sales que estas membranas consiguen a altas presiones, el porcentaje de conversión máximo. El porcentaje de conversión es el caudal de permeado (agua osmotizada) dividido entre el caudal de aporte total (permeado más rechazo) expresado en tanto por cien. Al final del estudio previo, resulta la siguiente propuesta:

a) Un estudio base de una instalación de tratamiento de agua por ósmosis inversa, para suministro de agua potable, según las consideraciones técnicas, a partir de un agua de pozo.

b) Se prevé la instalación para la producción de 24 m<sup>3</sup>/día de agua osmotizada, la cual se obtendrá con parámetros aproximados de conductividad  $\leq$  100  $\mu$ S/cm y Sales Disueltas Totales TDS = 50 mg/L. Seguidamente se procederá a una remineralización por tratarse de agua para consumo.

c) Para poder garantizar el correcto funcionamiento de la instalación diseñada, se requiere un mínimo de 2,1 bar de presión a la entrada del equipo de ósmosis. El grupo de presión necesario no está incluido en el presente estudio. Se prevé la cloración del agua tratada en su depósito de almacenamiento.

## Bases de diseño

### Agua tratada

Después del proceso de ósmosis inversa y el post-tratamiento aplicado, el agua obtenida se ajustará a las características aptas para consumo.

El diseño se ha realizado con una conversión global del 75%.

### Equipo propuesto

Equipo de ósmosis inversa, mod. ROI4-1200-DX (*figura 2*).

## Instalación propuesta

Proponemos una instalación de desmineralización del agua, por el proceso de ósmosis inversa. Dicha instalación estará compuesta básicamente por los siguientes equipos:

### Pretratamiento

- Dosificación de hipoclorito sódico.
- Filtración bicapa sílex-antracita.
- Sistema dosificador de antiincrustante.
- Dosificación de agente reductor de cloro libre.
- Microfiltración.

### Tratamiento por ósmosis inversa

- Bomba de alta presión de alimentación ósmosis inversa.
- Membranas de ósmosis inversa de alta eliminación de sales.
- Skid de soporte.
- Equipo de lavado de membranas.

### Sistemas de control de ósmosis inversa

- Conductímetro digital.
- Caudalímetros para medición de producto y rechazo digitales.
- Manómetro.

### Post-tratamiento

- Filtro remineralizador.
- Sistema analizador-regulador-dosificador de cloro.

## Descripción del proceso y especificaciones técnicas

### Pre-tratamiento

#### Dosificación de hipoclorito sódico

Se requiere la adición de hipoclorito sódico (NaClO) como agente biocida para eliminar la contaminación bacteriana que pueda contener el agua de aporte y evitar su desarrollo en los filtros, así como la deposición en la superficie de las membranas, lo cual originaría una pérdida de caudal de las mismas.

#### Filtración mediante filtro bicapa

La filtración de sílex-antracita se diseña para eliminar los sólidos en suspensión contenidos en el agua bruta. Asimismo también se reduce el contenido de materia coloidal, el índice del cual se reduce en aproximadamente un 90 % para partículas superiores a 50 micras. Limpieza automática estándar. Medida de protección para evitar la obturación precipitada de las membranas del equipo de ósmosis.

#### Sistema dosificación de antiincrustante

Se requiere la adición de antiincrustante específico para evitar la posibilidad de deposición de carbonatos y/o sulfatos

## RESUMEN

La distribución de fruta fresca tiene en la actualidad un alto nivel de exigencia de calidad en nuestros mercados, incluyendo los parámetros de potabilidad del agua de lavado de la fruta. La utilización de agua de pozos, que tradicionalmente representaba un recurso muy utilizado por las empresas hortofrutícolas, se encuentra actualmente condicionada al cumplimiento de la normativa actual de aguas potables, que establece los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Es por ello que en muchos casos es necesario el tratamiento del agua extraída de los pozos antes de poder ser utilizada para el lavado de la fruta. En este artículo se desarrolla una propuesta de una instalación de potabilización de 24 m<sup>3</sup>/día de agua por ósmosis inversa, a partir de los parámetros del agua de pozo que utiliza una empresa real, ubicada en Extremadura. La propuesta comprende el pre-tratamiento del agua, el propio tratamiento por ósmosis inversa, el sistema de control del equipo y el post-tratamiento.

de calcio y magnesio, que ocasionan incrustación en tuberías y membranas, lo cual originaría una pérdida de caudal y menor rendimiento del equipo.

### Dosificación de reductor (NaHSO<sub>3</sub>)

Se propone la dosificación de bisulfito sódico (NaHSO<sub>3</sub>) para eliminar el cloro libre residual y otros oxidantes presentes en el agua que degradan las membranas de ósmosis inversa.

### Microfiltración

Se realiza una segunda filtración, a través de un filtro de cartucho instalado antes del bombeo de alta presión. En él quedan retenidas partículas de un tamaño superior a 5 micras, de modo que protegen tanto la bomba de alta presión como las membranas de ósmosis inversa de cualquier partícula abrasiva.

### Equipo de limpieza de membranas (opcional)

Las membranas sufren ensuciamientos que obligan a su limpieza química con una frecuencia aproximada de una a dos veces por año.

### Bastidor de ósmosis inversa

Se ha calculado el diseño óptimo de los módulos de ósmosis inversa para obtener la máxima conversión, así como mantener una velocidad suficientemente alta dentro de los módulos para evitar deposiciones debido a la sobresaturación del concentrado. En este caso, se adopta una conversión global de un 75 %.

Se dispone de 2-1-1-1 membrana/módulo, a fin de tener un buen rendimiento por membrana. De esta forma, el agua bruta penetra por uno de los extremos de la carcasa, atravesando axialmente



Figura 2. Fotografía del equipo propuesto.

el elemento. El agua permeada pasa al colector central, que ocupa el eje geométrico de la carcasa donde es recogida y el agua de rechazo del elemento se recoge en el otro extremo de la carcasa. Las membranas son de poliamida en arrollamiento en espiral.

Para verificar el control de la producción se dispondrá de caudalímetros a la salida del agua-producto, así como en la salida de rechazo, siendo posible controlar el porcentaje de conversión, ajustable mediante el accionamiento sobre una válvula de aguja de regulación (tabla 3).

### Post-tratamiento

#### Filtro remineralizador

Se aconseja el uso de este filtro para establecer de nuevo un equilibrio iónico del agua, aumentando levemente su conte-

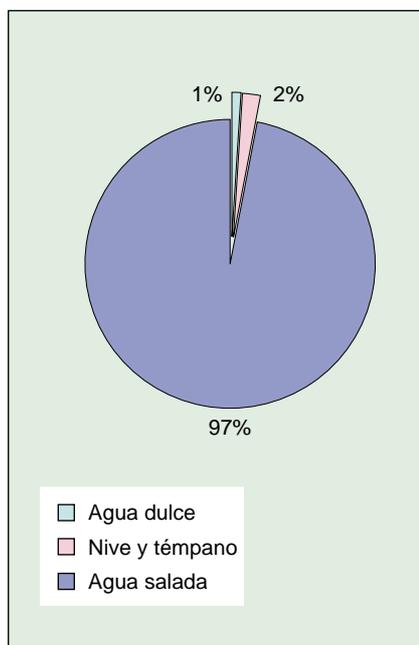


Figura 1. El agua en el mundo (Fuente: Rain Bird Corporation).

Cationes	Unidades en mg/L	Aniones	Unidades en mg/L
Ca <sup>2+</sup>	99,5	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	187,9
Mg <sup>2+</sup>	23,2	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	92,9
Na <sup>+</sup>	223,7 (máx = 200)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	237,95 (máx = 50)
K <sup>+</sup>	< 2	Cl <sup>-</sup>	274,5 (máx = 250)

Tabla 1. Parámetros químicos.

Det. microbiológico	Resultado	Método analítico	Niveles
Rto. clostridios sulfito-R	Ausencia UFC/100mL	Filtr. Membr. medio m-cp	Ausencia/100 mL
Rto.colif. fecales ( <i>E.Coli</i> )	Ausencia UFC/100mL	F. M. Medio Chapman TTC	Ausencia/100 mL
Rto. coliformes totales	Ausencia UFC/100mL	F. M. Medio Chapman TTC	Ausencia/100 mL
Rto. streptococos fecales	Ausencia UFC/100mL	F. M. Slanetz & Bartley	Ausencia/100 mL
Rto. total bacterias aerobias a 22 °C	1 UFC/mL	Rto. En placa medio PCA	100 UFC/mL
Rto. total bacterias aerobias a 37 °C	43 UFC/mL	Rto. En placa medio PCA	10 UFC/mL

Tabla 2. Parámetros microbiológicos.

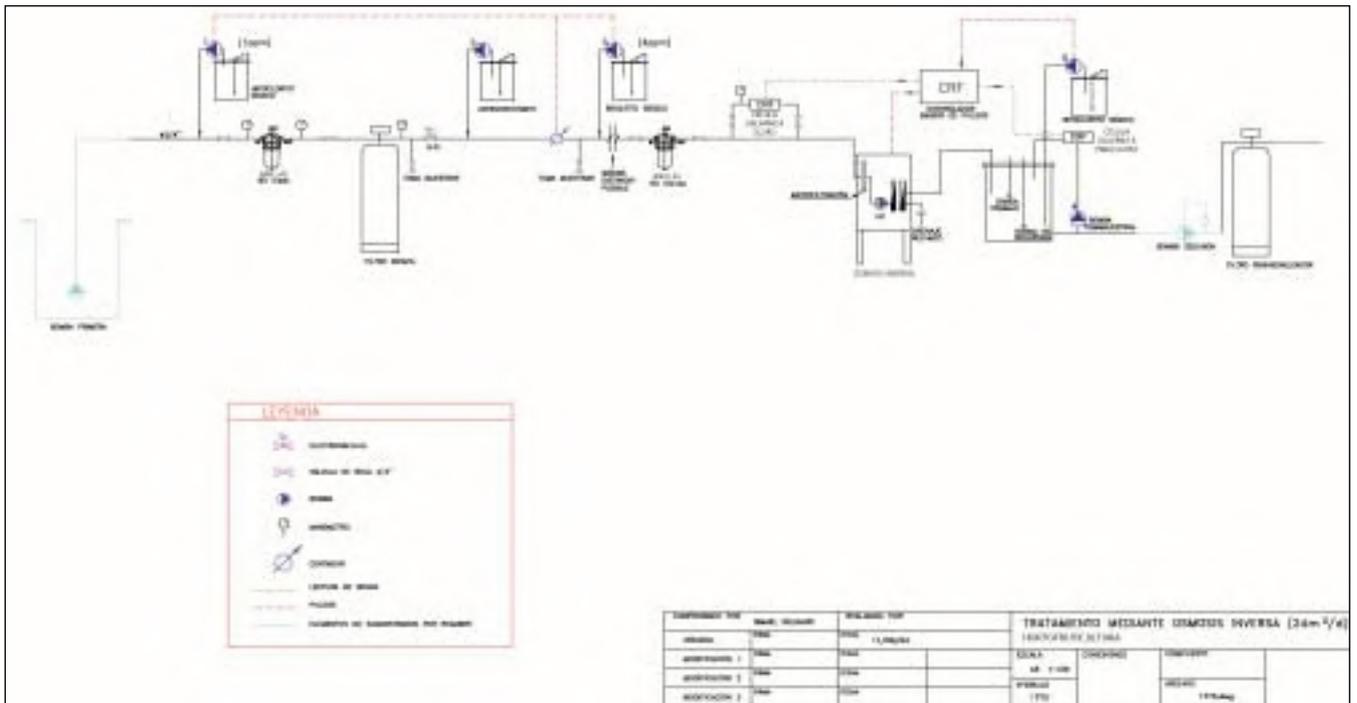


Figura 3. Diagrama de flujos de la instalación.

nido en sales y haciéndola apta para su consumo. El filtro está compuesto por lecho filtrante a base de calcita.

#### Dosificación de hipoclorito sódico

Se requiere la adición de hipoclorito sódico (NaClO) como agente biocida para eliminar una posible contaminación bacteriana en el depósito de almacenamiento, y mantener los niveles mínimos

requeridos de desinfección según establece la normativa.

Dosis de diseño: regulada mediante controlador y electrodo de cloro libre.

#### Cuadro de control general

El proceso se controlará mediante un cuadro de control y mando, incluyendo: interruptor general, botoneras de mando, pilotos indicadores y conexión con cua-

dro de control del bastidor de ósmosis inversa. La figura 3 contiene el diagrama de flujos con la disposición de los equipos a instalar.

#### Conclusión

La instalación propuesta constituye una más de las múltiples aplicaciones de la ósmosis inversa a las actuales necesidades de potabilización de agua. Es destacable que el presente caso engloba simultáneamente, tanto el campo industrial como el campo del consumo humano, si bien este último de forma indirecta.

#### Bibliografía

Stenco. *Tratamiento de aguas*. 3ª edición. 2004.  
Degremont. *Manual técnico del agua*. 4ª edición. 1979.  
Regaber. *Filtración de arena, manual técnico*. Ed. 2002.

#### Internet

www.waternet.com  
www.aquaespana.net

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Modelo equipo: RO-1200 L/H-DX
- Producción de diseño: 24 m<sup>3</sup>/d (1.200 L/h) a 20 °C (20 h)
- Presión de trabajo: 14-15 bar
- Membranas:
- Cantidad: 5 unidades
- Tipo: alto rechazo nominal de sales
- Rechazo nominal: 95 - 98 %
- Módulos: (4) acero inoxidable 304
- Disposición: 2-1-1-1 (membranas/módulo)
  - Tubería de alta presión: caucho reforzado
  - Bomba: centrífuga multietapa, en acero inoxidable
  - Motor: 3,7 KW, 220/380 VAC
  - Dimensiones generales: 152 X 76 X 66 cm (H x A x P)
  - Alimentación eléctrica cuadro: 220 VAC, 50 Hz
  - Peso: 147 kg
  - Conexiones: entrada 3/4" permeado 3/4" rechazo 3/4"
  - Instrumentación: presostato entrada térmico protección bomba manómetro entrada/salida de membranas manómetro entrada/salida microfiltración caudalímetros de permeado y rechazo conductivímetro sistema de *flushing* o enjuague automático

Tabla 3.

## AUTORES

#### Ismael Delgado Caballero

Ingeniero técnico industrial por la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (U.P.C.).

#### Ramón Oliver Pujol

Catedrático de la Unidad de Química Industrial de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (U.P.C.).

#### Francesc Estrany Coda

Profesor titular de la Unidad de Química Industrial de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (U.P.C.).