

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
COMISION NACIONAL DE RIEGO

MANUAL DE TECNOLOGIAS PARA MITIGAR LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS DE RIEGO

2007

La Comisión Nacional de Riego promueve el uso de aguas de riego de calidad, que permitan el desarrollo de una agricultura sustentable y competitiva, basada en el uso de recursos limpios.



AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos por su aporte a la elaboración de este manual:
Escuela Agrícola Fundo Quimávida de la Fundación San Vicente de Paul
Departamento de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Tarapacá
Laboratorio de Hidrología Ambiental del Departamento de Recursos Hídricos de la Universidad de Concepción

El siguiente material ha sido elaborado en el marco del programa de la Comisión Nacional de Riego " Validación y Difusión de Tecnologías para la Prevención y Mitigación de la Contaminación de las Aguas de Riego", desarrollado por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA).

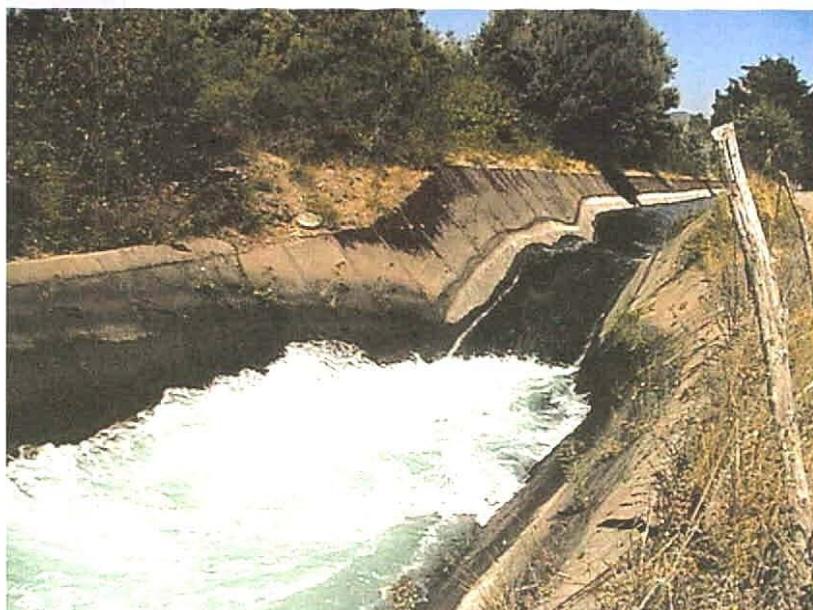
AUTOR: SERGIO DE LA BARRERA C. (Profesional CENMA)

COORDINACION Y EDICION: PATRICIO PARRA C. (Profesional CNR)

INDICE DE CONTENIDOS

1.	Introducción	6
2.	Calidad de agua para riego	7
3.	Remoción de sólidos suspendidos	8
	Filtración Granular Multicapas	9
4.	Tecnologías de mitigación	11
5.	Remoción de coliformes fecales	11
	Ultravioleta	12
	Ozono	14
	Filtración por Cartucho	17
	Filtración con Bolsa	19
	Microfiltración y Ultrafiltración	21
6.	Remoción de sólidos disueltos	24
	Electrodialisis Reversa	25
7.	Remoción específica de iones	27
	Carbón Activado Granular	28
	Intercambio Iónico	30
	Medios Filtrantes	33
	Alumina Activada	35
8.	Validación de tecnologías	36
8.1	Unidad Tecnológica Demostrativa	36
8.2	Filtración con Bolsas (Microfiltración)	39
8.3	Ultravioleta	40
8.4	Ozono	41
9.	Otras experiencias nacionales	42
9.1	Remoción de bacterias por Fotocatálisis	42
9.2	Remoción de Boro	44
9.3	Biofiltros	46
	Anexo N°1 Muestreo de agua	47
	Anexo N°2 Proveedores de tecnologías	50
	Anexo N°3 Consideraciones de diseño	51
	Anexo N°4 Eco Bio Block (EBB)	53

1. INTRODUCCION



La competitividad de la agricultura puede verse seriamente afectada por la calidad del agua de riego, por lo tanto, es necesario utilizar diferentes estrategias para evitar la contaminación de este recurso.

Disponer de agua limpia para riego debe ser el resultado de un esfuerzo público -privado, que involucre acciones tan diversas como: la elaboración de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales, la fiscalización de descargas puntuales de residuos industriales líquidos a los cursos de agua, la planificación territorial, la adecuada recolección y disposición de residuos sólidos y domiciliarios, la adopción de buenas prácticas agrícolas, el aseguramiento de la calidad, acuerdos de producción limpia de sectores agrícolas e industriales, el uso de tecnologías y la gestión de la calidad del agua por parte de las organizaciones de regantes.

En este escenario amplio de soluciones, el presente manual se centra en el uso de tecnologías para mitigar la contaminación de las aguas de riego. La mayoría de las tecnologías presentadas pueden implementarse utilizando equipos de diferente capacidad y tamaño o utilizarse en diseños modulares paralelos para tratar mayor cantidad de agua. Tres de estas tecnologías (Ultravioleta, Ozono y Microfiltración) fueron validadas en una unidad tecnológica demostrativa de la Comisión Nacional de Riego (CNR), otras están siendo estudiadas y validadas en universidades chilenas y centros de investigación nacional, sin embargo la gran mayoría corresponde a una recopilación bibliográfica de antecedentes y a la información proporcionada por las propias empresas proveedoras de las tecnologías.

Es necesario mencionar, que gran parte de las tecnologías aquí presentadas fueron diseñadas y se utilizan para potabilizar agua o tratar residuos industriales líquidos, por lo tanto, su uso en riego plantea nuevos desafíos en su adaptación a condiciones de contaminación más variables.

Esperamos que este manual sea un aporte para resolver, junto a otras estrategias, el problema de contaminación de las aguas que se utilizan para riego.

2. CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

La Norma Chilena NCh 1.333 of. 78, modificada en el año 1987, es una guía de valores físicos, químicos y microbiológicos que se utiliza como referencia para la calidad del agua de riego en el país. Entrega valores límite, indicados en la siguientes tablas, y permite a la Autoridad Competente establecerlos en el caso de los herbicidas.



Parámetro	Unidad	Límite máximo
Aluminio	mg/l	5
Arsénico	mg/l	0,1
Bario	mg/l	4
Berilio	mg/l	0,1
Boro	mg/l	0,75
Cadmio	mg/l	0,01
Cianuro	mg/l	0,2
Cloruro	mg/l	200
Cobalto	mg/l	0,05
Cobre	mg/l	0,2
Cromo	mg/l	0,1
Fluoruro	mg/l	1
Hierro	mg/l	5
Litio	mg/l	2,50
Litio (cítricos)	mg/l	0,075
Manganeso	mg/l	0,2
Mercurio	mg/l	0,001
Molibdeno	mg/l	0,01
Niquel	mg/l	0,2
pH	mg/l	5,5 - 9,0
Plata	mg/l	0,2
Plomo	mg/l	5
Selenio	mg/l	0,02
Sodio porcentual	Fracción	0,35
Sulfato	mg/l	250
Vanadio	mg/l	0,1
Zinc	mg/l	2
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000 (1)

(1) Para cultivo de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo.

Clasificación	Conductividad Específica (umhos/cm a 25 °C)	Sólidos Disueltos Totales (mg/l)
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.	C.E. \leq 750	S.D.T. \leq 500
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	750 < C.E. \leq 1.500	500 < S.D.T. \leq 1.000
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos.	1.500 < C.E. \leq 3.000	1.000 < S.D.T. \leq 2.000
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.	3.000 < C.E. \leq 7.500	2.000 < S.D.T. \leq 5.000

La determinación de la calidad del agua de riego depende significativamente del diseño de programa de muestreo, la calidad del laboratorio al cual se le envían las muestras y de una correcta toma de muestra, como se señala en el Anexo N°1.

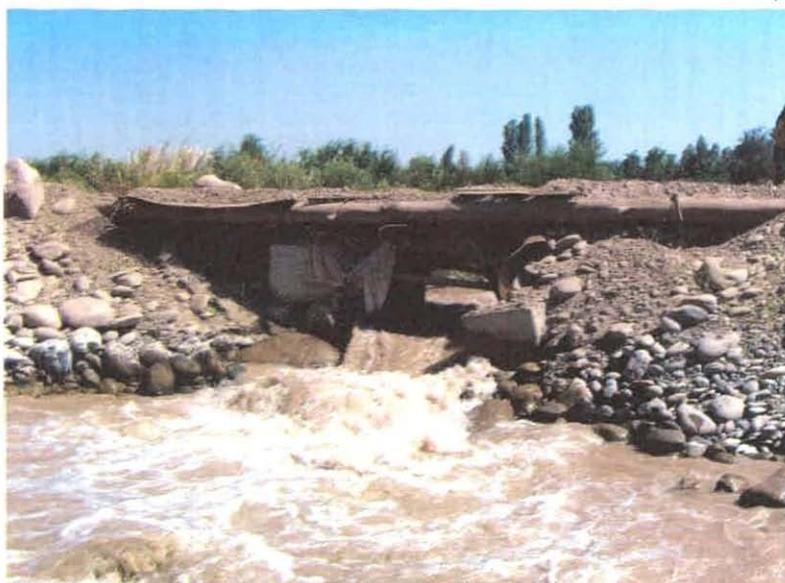
En el Anexo N°2 se presentan empresas en Chile que proveen tecnologías de tratamiento de agua.

A continuación se presenta una visión general de las tecnologías, información que debe complementarse con las consideraciones de diseño descritas en el Anexo N°3.

3. REMOCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS

El uso de tecnologías para mitigar la contaminación del agua puede requerir de un tratamiento previo para reducir el contenido de sólidos en el agua a tratar. Entre las diversas opciones tecnológicas que se pueden utilizar con este fin, destaca la Filtración Granular Multicapas, ya que opera a altas concentraciones de sólidos suspendidos, reteniendo partículas hasta 4 - 6 micras . Este tamaño de corte comprende una fracción de las arcillas y limos presentes en las aguas de riego, cuya presencia impacta significativamente en el contenido de sólidos suspendidos.

La mayoría de las tecnologías para mitigar la contaminación puede requerir reducir aún más el contenido de sólidos suspendidos en el agua a tratar, por lo que se deberá emplear tecnologías complementarias en el tratamiento previo, como es la Filtración por Cartucho o con Bolsa.



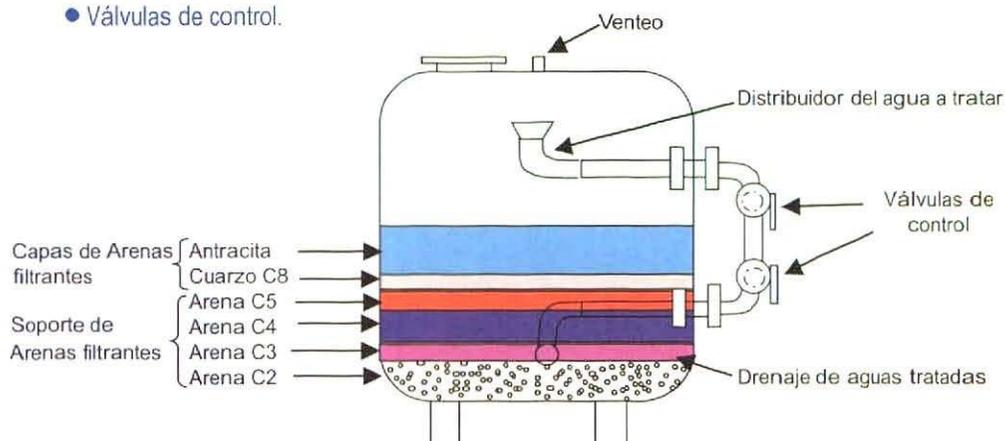
TECNOLOGIA FILTRACION GRANULAR MULTICAPAS

Uso: Remueve por exclusión partículas sólidas hasta 4 – 6 micras.

Descripción del sistema

Es un dispositivo con arenas de diverso tamaño y densidad, que comprende los siguientes componentes:

- Distribuidor del agua a tratar.
- Capas de arenas filtrantes de diverso tipo.
- Soporte de arenas filtrantes.
- Drenaje de agua tratada.
- Válvulas de control.



El agua fluye a presión por las diferentes capas y las partículas de mayor tamaño que los espacios entre las arenas son retenidas mecánicamente. Una vez agotada la capacidad de filtración, los sólidos retenidos son retirados por retro lavado, generándose un agua residual.

El sistema se diseña considerando la turbiedad², caudal promedio y caudal máximo. Un aumento en la cantidad de sólidos demandará una mayor frecuencia de retro lavado.

² Turbiedad: Medida indirecta del contenido de sólidos en el agua.

Parámetros que afectan su funcionamiento

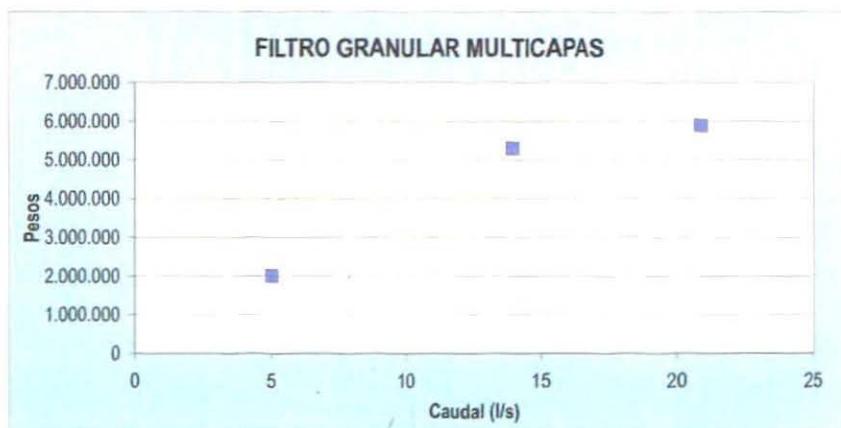
Su eficiencia se ve afectada por:

- Operación a diferencias de presión superior a 10 psi³ entre la entrada y la salida.
- Presencia de aceites.



Panel de Válvulas de Control
Filtro Granular Multicapas

Costo del Equipo



Fuente:Elaboración propia en base a información proporcionada por la empresa HIDROTEC.

4. TECNOLOGIAS DE MITIGACION

La mayoría de las tecnologías se han sido desarrolladas para potabilizar agua, tratar residuos industriales líquidos o desalar recursos hídricos para potabilizarlos, por lo que su uso en aguas de riego plantea el desafío de trabajar en condiciones muy variables de contaminación, tanto en concentración como en tipo de contaminantes.

Estas tecnologías no siempre son selectivas y muchas veces requieren de un tratamiento previo para eliminar interferentes.

En algunos casos su uso genera externalidades ambientales ya que concentran los contaminantes en un residuo sólido o líquido, el que debe ser dispuesto adecuadamente para evitar la contaminación de los recursos naturales. Considerando que las tecnologías de tratamiento suelen requerir de sistemas eléctricos y de reactivos químicos, su manejo debe integrarse al sistema de seguridad y salud ocupacional aplicado en el predio.

En la siguiente tabla se muestran las tecnologías con mayor difusión comercial para el control de los contaminantes regulados por la norma NCh 1.333.

Parámetro	Oferta Tecnológica Feria AQUATECH 2006, Amsterdam, Holanda
Coliformes fecales	<ol style="list-style-type: none"> 1 Ultravioleta 2 Filtración empacada (Bolsa y Cartucho) 3 Microfiltración (Tecnología de Membranas) 4 Ozono 5 Electrogeneración de Oxidantes (1)
Iones	<ol style="list-style-type: none"> 1 Osmosis Inversa (Tecnología de Membranas) 2 Medios Filtrantes 3 Carbón Activado 4 Intercambio iónico 5 Nanofiltración (Tecnología de Membranas)

(1) Potencial generación de compuestos cancerígenos si hay materia orgánica en el agua.

5. REMOCION DE COLIFORMES FECALES

La remoción de coliformes fecales se puede lograr por medios físicos, químicos o biológicos. En la siguiente tabla se comparan algunas de las tecnologías con mayor potencial para su uso en aguas de riego.

Aspecto	Ultravioleta (1)	Ozono	Filtración Cartucho	Filtración Bolsa	Microfiltración
Costo capital	+	+++	+	+	++++
Costo operación y mantenimiento	++	+++	+++	+++	+++
Capacidad operador	++	+++	++	++	+++
Requerimiento de energía	++	+++	+	+	+++
Complejidad tecnológica	+	+++	++	++	+++

Muy Alto ++++ Alto +++ Intermedio ++ Baja +

(1) Los equipos adicionales al diseño básico le confieren complejidad tecnológica y elevan su costo.

Fuente: elaboración propia basado en documento "Desinfección del agua OPS/CEPIS/PUB 02.83 de 2002".

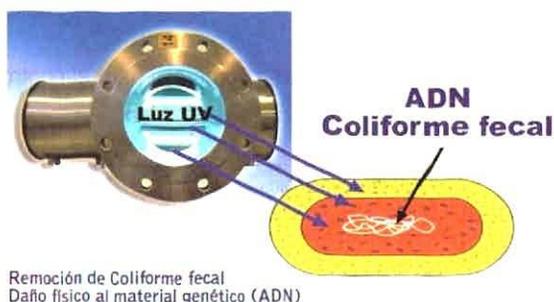
TECNOLOGIA ULTRAVIOLETA

Uso: Remoción de bacterias por daño a sus genes con irradiación ultravioleta.

Descripción del sistema

El sistema UV básico comprende:

- Panel de control y balastos UV (componentes electrónicos que limitan la corriente).
- Lámparas, en un reactor cerrado o en un canal abierto.
- Funda de cuarzo para aislar la lámpara del contacto del agua.



Reactor Cerrado

El reactor ocupa poca área superficial y se puede instalar en posición horizontal o vertical. Un dispositivo moderno de desinfección puede incluir los siguientes equipos adicionales:

- Mecanismo de auto limpiado: mecánico, ultrasónico.
- Detector de variación de la intensidad de la luz conectado a una alarma.
- Microprocesador que ajusta de modo automático la salida de radiación UV.
- Interruptores para velocidad de flujo alta o baja, de intensidad luminosa alta o baja y de temperatura anormal de los componentes del sistema.
- Detector de lámpara apagada y contador de horas de servicio.

El diseño se basa en el caudal máximo, caudal mínimo, la calidad del agua y la intensidad de luz por unidad de tiempo o el contenido de microorganismos deseado a la salida.

De la calidad del agua se debe conocer:

- Transmittancia,⁴ que es la cantidad de luz UV que está disponible para eliminar bacterias.
- Contenido de sólidos suspendidos, ya que protegen a la bacteria de la exposición a la luz.

El contenido en el agua de materia orgánica e inorgánica y de la temperatura de la lámpara determina una mayor o menor frecuencia de limpieza. En sistemas pequeños, este trabajo se realiza manualmente con ayuda de algunos productos de depuración.

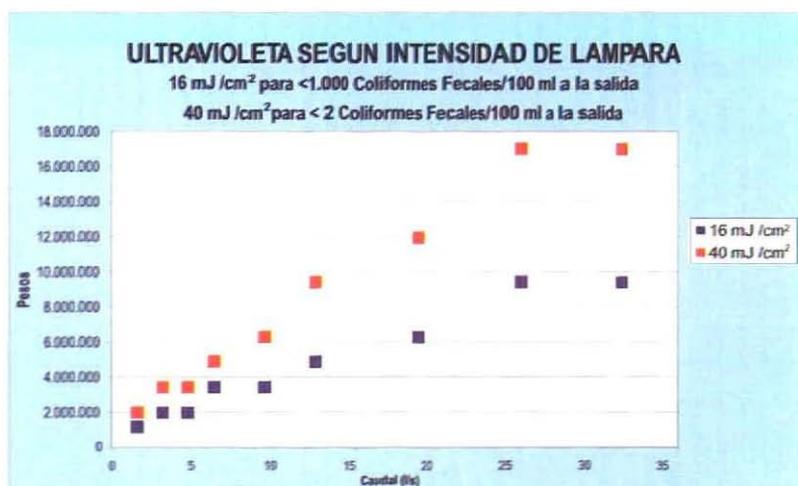
Para tratar más caudal o una mayor concentración de bacterias en un canal abierto se debe tener la infraestructura necesaria para instalar más lámparas, mientras que en sistema cerrado (reactor) se puede comprar un equipo de mayor capacidad o añadir reactores de similar tamaño, en serie o en paralelo.

Parámetros que afectan su funcionamiento

Los factores que inciden en su capacidad de remoción son:

- Reducción de las horas útiles de la lámpara, ya sea por incremento de la temperatura del agua o una frecuencia alta de ciclos de encendido y apagado durante el día.
- Horas de uso de la lámpara.
- Falta de limpieza de la lámpara.

Costo del Equipo



Fuente: Ministry of Agriculture, Food and Fisheries / British Columbia, "Treating Irrigation and Crop Wash Water for Pathogens", January 2003.

El costo de operación y mantenimiento anual es aproximadamente un 2,5 % del costo de inversión.⁵

⁵ EPA, "Desinfección con luz Ultravioleta", Septiembre 1999.

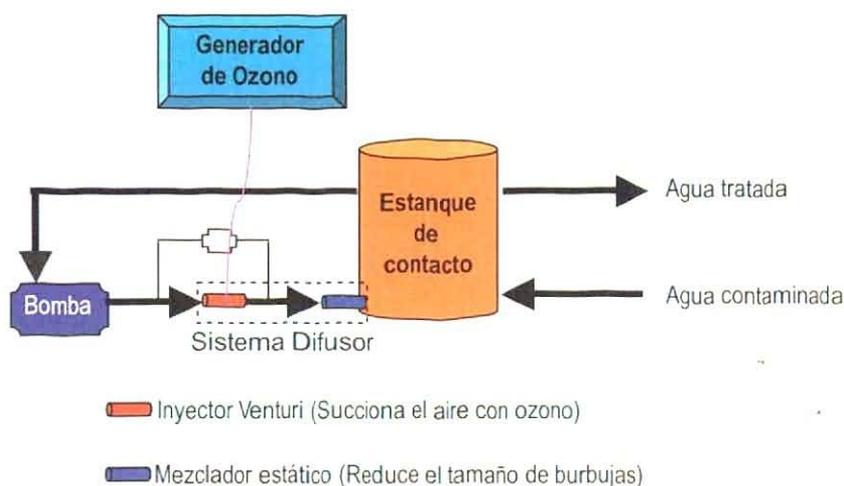
TECNOLOGIA OZONO

Uso: Remoción de bacterias y pesticidas por la alteración electroquímica de su estructura.

Descripción del sistema

El sistema de tratamiento con Ozono comprende los siguientes componentes básicos:

- Generador de Ozono, incluido filtros de aire.
- Sistema difusor de Ozono en el agua a tratar.
- Estanque de Contacto.



Ozonización por "Recirculación"

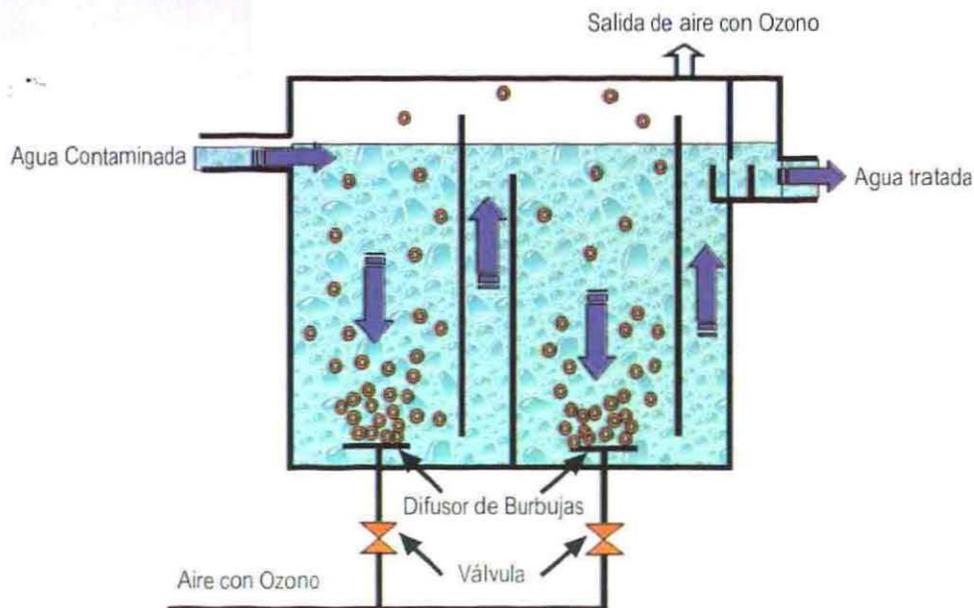
Para condiciones de alta humedad relativa, se requiere los siguientes equipos para secar el aire:

- Secador.
- Compresor.
- Reguladores de presión.

La forma más usual para producir Ozono es mediante la aplicación de descargas eléctricas al Oxígeno captado del ambiente⁶, transformándolo en Ozono.

El sistema de aplicación de Ozono más común es el difusor de burbujas finas instalado en un estanque de 5 a 7 metros de altura de agua, en el cual el Ozono toma contacto con el agua a tratar.

⁶ Sólo en grandes sistemas es económicamente viable usar un suministro de Oxígeno Líquido.



Difusor de Burbujas Finas y Cámara de Contacto

Otros componentes para la aplicación de Ozono son el inyector Venturi que opera a vacío y el mezclador de turbina, el cual requiere de un estanque de 2 – 4,5 metros de altura de agua.

El sistema se diseña para obtener un contenido de Ozono de 0.4 – 0.5 mg/l después de 5 minutos de contacto, a caudal máximo. De la calidad del agua se debe conocer:

- El consumo de Ozono por elementos oxidables distintos a las bacterias.
- La temperatura del agua, si ésta es baja demanda una mayor concentración de Ozono o mayor tiempo de contacto.



PZ2.12 NSF
Generador de Ozono
(Gentileza ECOZONE)

Para tratar más caudal o una mayor concentración de bacterias se requiere un equipo de generación de Ozono más grande.

Parámetros que afectan su funcionamiento

El diseño se ve afectado por:

- Mayor temperatura del aire y/o mayor humedad relativa que reducen la disponibilidad de Ozono.
- Aumento de la turbiedad.
- Variaciones de voltaje y frecuencia en la corriente que afectan la generación de Ozono.
- pH mayores a 6-8 y alcalinidad elevada afectan la estabilidad del Ozono.
- Valores de presión en el estanque de contacto < 10 psi que afectan la solubilidad del Ozono.

Costo del Equipo



Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por la empresa española HIDRITEC.

TECNOLOGIA

FILTRACION POR CARTUCHO

Uso: Remoción por exclusión de bacterias y partículas sólidas.

Descripción del sistema

Es una carcasa en cuyo interior se fijan de 1 a 200 cartuchos, dependiendo del modelo empleado, por cada uno de los cuales el agua fluye desde el exterior al canal interior. Los cartuchos de material semirígido o rígido pueden ser de "profundidad" (0.5 – 100 micras) con diámetro de poro nominal⁷ o de "superficie" (0.1- 1 micra) con diámetro de poro nominal y absoluto⁸.

Una segunda generación de filtro de cartucho de "superficie" alcanza los 0.005 – 0.15 micra.



Tipos de Cartucho

Este sistema genera una baja caída de presión (3 - 8 psi) y permite trabajar a presiones elevadas (150 psi). Los filtros son desechables, por lo que su uso genera un residuo sólido.

El sistema se diseña considerando la cantidad de material que puede retener el filtro, el tamaño y tipo de partícula a retener. Para tratar una mayor concentración de contaminantes, se requerirá reemplazar los cartuchos con mayor frecuencia.

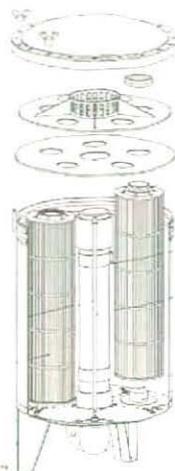
⁷ Diámetro nominal: 95% eficiencia de retención del diámetro indicado.

⁸ Diámetro absoluto: 99% eficiencia de retención del diámetro indicado.

Parámetros que afectan su funcionamiento

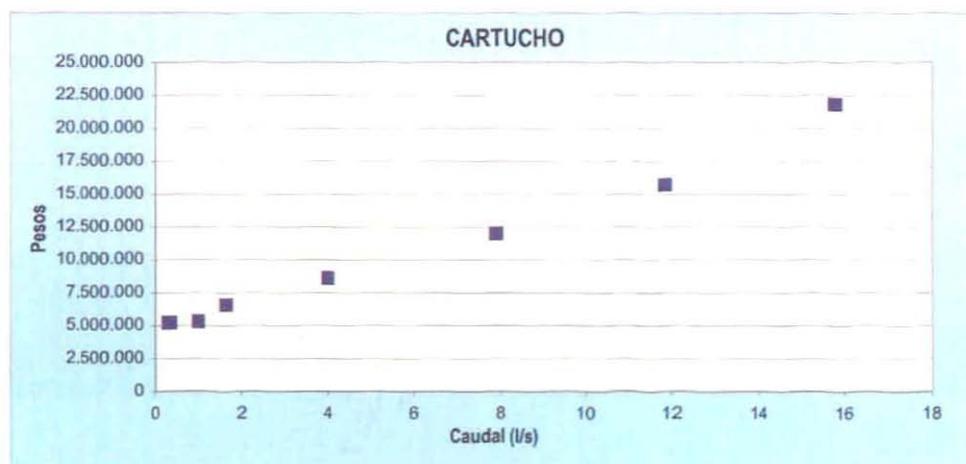
La eficiencia de estos sistemas se ve afectada por lo siguiente:

- Turbiedad > 1- 5 NTU o contenido de sólidos suspendidos > 25 mg/l.
- Desarrollo de películas biológicas que incrementa la caída de presión y acorta su vida útil (para evitar este problema es necesario emplear un residual desinfectante).
- Mala instalación del cartucho o daño en la estructura del filtro.



Componentes de la Carcasa

Costo del Equipo



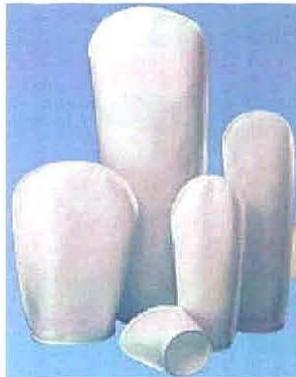
Fuente: EPA, " Technologies and Costs Document for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule and Final Stage 2 Disinfectants and Disinfection By products Rule", December 2005.

TECNOLOGIA FILTRACION CON BOLSA

Uso: Remoción por exclusión de bacterias y partículas sólidas.

Descripción del sistema

Es una carcasa en cuyo interior se fijan bolsas con tamaño de poro de 0.45 – 50 micras. Dependiendo del caudal a tratar hay carcasas que permiten en su interior 1 a 4 bolsas.



Bolsas Filtrantes



Carcasa

El tipo de bolsa empleada para remover microorganismos se usa una sola vez, a diferencia de las bolsas empleadas para remover sólidos que se pueden reutilizar un número determinado de veces.

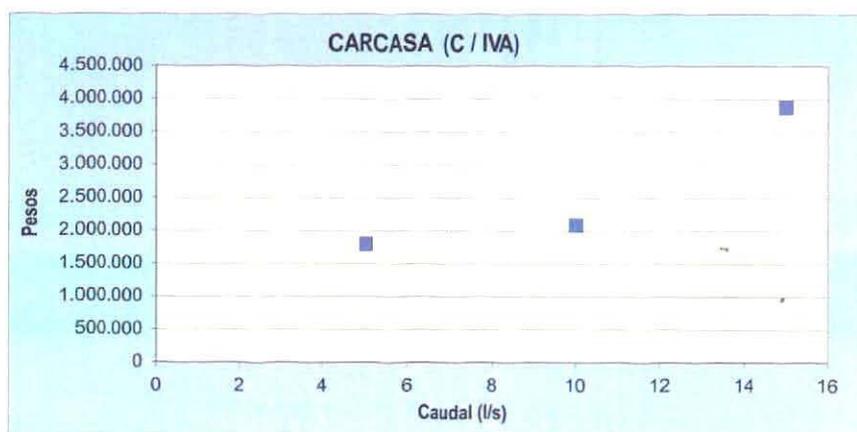
El sistema se diseña considerando la cantidad de material que puede retener el filtro, el tamaño y tipo de partícula a retener. Para tratar una mayor concentración de contaminantes se necesita reemplazar las bolsas con mayor frecuencia.

Parámetros que afectan su funcionamiento

El sistema ve afectada su eficiencia por:

- Mala instalación de las bolsas o uso de sellos hidráulicos gastados.
- Turbiedad > 1 - 5 NTU.
- Aumento excesivo de caudal y de la presión del sistema, provocando la rotura de la bolsa.
- Grandes variaciones de caudal u operación intermitente generan fallas en la bolsa.
- Desarrollo de películas biológicas que incrementa la caída de presión y acorta su vida útil (para evitar este problema, se debe emplear un residual desinfectante).

Costo del Equipo



Fuente: Elaboración propia en base a información entregada por la empresa nacional WALBAUM Ltda.

Un costo relevante en la operación es la reposición de la bolsa, cuyo costo se indica en la siguiente tabla.

Micras	Material	Modo de uso	Costo (c/IVA) Pesos
25	Nylon	Reutilizable	13.500
1	Nylon	Reutilizable	16.500
1	Poliéster	Reutilizable	55.500
0,45	Polipropileno	Desechable	122.000

TECNOLOGIA MICROFILTRACION Y ULTRAFILTRACION

Uso: Remoción por exclusión de microorganismos y partículas con Microfiltración y de microorganismos y plaguicidas con Ultrafiltración.

Descripción del sistema

Son sistemas basados en el uso de membranas que retienen los contaminantes, operando de manera automatizada en ciclos de filtrado, lavado y limpieza química. Los principales componentes de estos sistemas son:

- Módulo de membranas: membranas, bombas, estanque de agua para retrolavado, panel de control.
- Sistema de limpieza química: estanques y bombas.
- Sistema de aireación para membranas inmersas en el agua a tratar: compresores, filtros y secadores.

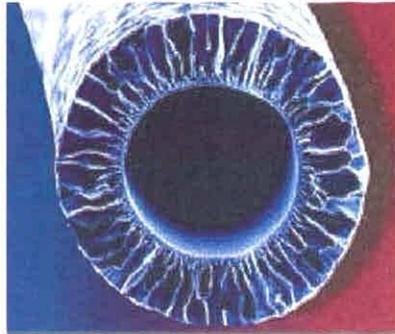


Módulo de Membranas

La Microfiltración y la Ultrafiltración son fáciles de operar y de mantener si la turbiedad es baja, con diámetro de poros de 0.09 a 1 micra y 0.001 a 0.1 micra respectivamente.

El agua contaminada se pone a presión en contacto con las membranas que retienen el contaminante, generando un agua tratada (85 – 97 % del agua captada) y un agua residual concentrada (3 – 15 % de agua captada).

La membrana más usada es de fibra hueca, la cual se instala en un módulo de presión positiva (3 a 40 psi) o un módulo a vacío inmerso en el agua a tratar (-3 a -12 psi).



Fibra Hueca

Estos sistemas pueden hacer frente a situaciones cambiantes de calidad de agua. Los sistemas inmersos tienen mayor capacidad de adaptarse si el operador aplica las acciones adecuadas: acondicionamiento químico del agua a tratar, verificación de la dosis de coagulante y ajuste del caudal.



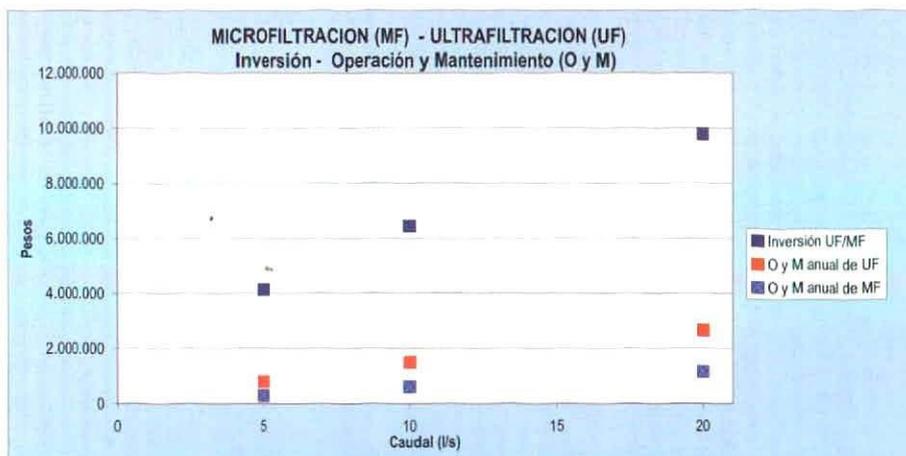
Módulos de Membrana Fibra Hueca

Parámetros que afectan su funcionamiento

La eficiencia se ve afectada por:

- Daños no detectados en las membranas.
- Programa de limpieza y mantenimiento de membranas no apropiados.
- Retrolavado con agua de mala calidad.
- Precipitación de Hierro y Manganeseo en la membrana (se evita con una oxidación previa).

Costo del Equipo



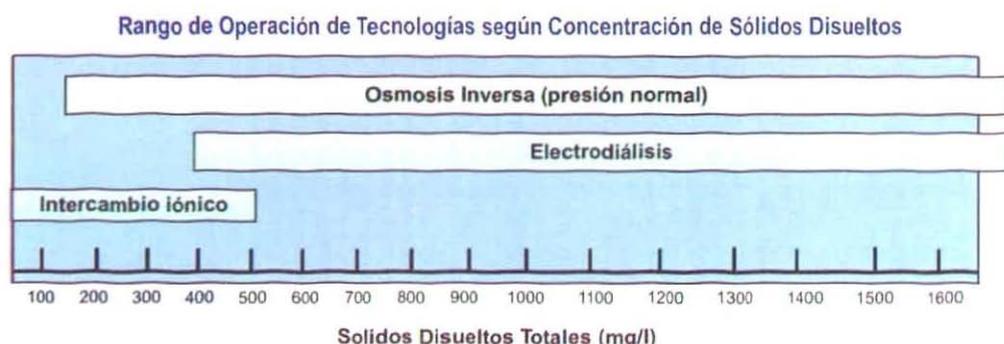
Fuente: EPA, "Technologies and Costs Document for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule and Final Stage 2 Disinfectants and Disinfection By products Rule", December 2005.



Sistema de Microfiltración (Gentileza AGUASIN)

6. REMOCION DE SOLIDOS DISUELTOS

La remoción general de iones busca reducir el contenido de sólidos disueltos.⁹ Las tecnologías disponibles se muestran en la siguiente gráfica.



Para los caudales de agua usuales en el riego, la Electrodiálisis es más conveniente que la Osmosis Inversa por los siguientes factores:

- Menor consumo de energía (Osmosis Inversa 2,4 – 4,5 kWh/m³ y Electrodiálisis 1 – 2 kWh/m³).¹⁰
- Menor costo de inversión (Osmosis Inversa 0,32 – 0,61 Dólares/m³ y Electrodiálisis 0,17 – 0,32 Dólares/m³).
- El tratamiento previo no es tan exigente como el de Osmosis Inversa.
- La Electrodiálisis puede operar a mayores concentraciones de sólidos suspendidos.
- Las membranas son menos susceptibles al ensuciamiento biológico.

El Intercambio Iónico no tiene aplicación en el tratamiento de agua de riego, porque esta tecnología sólo puede operar bajo los 500 mg/l de sólidos disueltos.



⁹ Sólidos disueltos: Total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2 micras.

¹⁰ Fuentes: Ramírez Antonio, "Desalación del agua", Revista Agua latinoamericana Sept/Oct 2003.

¹¹ IDEM.

TECNOLOGIA

ELECTRODIALISIS REVERSA

Uso: Remueve iones positivos o negativos.

Descripción del sistema

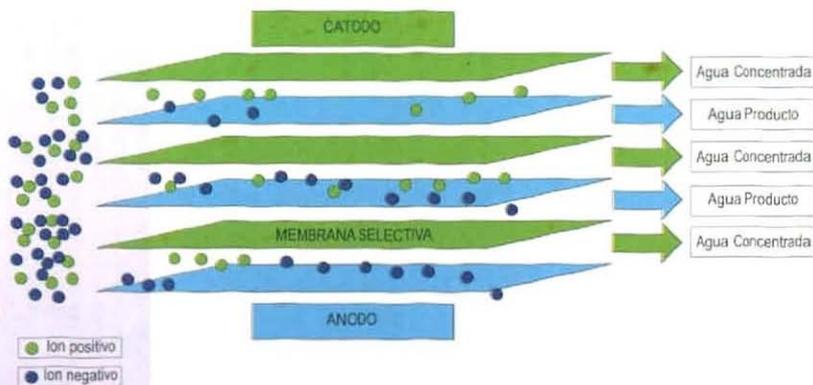
Esta tecnología emplea membranas selectivas al paso de iones positivos o negativos. Este equipo comprende los siguientes componentes mayores:

- Torre de membranas (Vida útil 8 – 10 años).
- Bomba de circulación de baja presión (Caida de presión < 25 psi).
- Fuente de poder.



Torre de membranas equipo Electrodiálisis

Las membranas se disponen entre dos electrodos que atraen el ion de carga opuesta, hasta que en su desplazamiento encuentra la membrana que impide su paso. Se genera un agua tratada, que corresponde al 90% del caudal de entrada, y agua salobre, que es un agua residual.



Esquema de separación de iones por Electrodiálisis

La Electrodialisis Reversa, al alternar la polaridad del campo eléctrico, permite limpiar las membranas de incrustaciones y otros depósitos, favoreciendo mayores tasas de recuperación de agua a menores costos y menores problemas por ensuciamiento de la membrana.

Es fácil de operar y se utilizan productos químicos para su mantenimiento. Para la remoción de sólidos de las membranas y de impurezas acumuladas en los electrodos se hace pasar agua sin generar el potencial eléctrico, produciéndose nuevamente un agua residual.

La calidad del agua debe cumplir con lo siguiente:

- Sólidos disueltos de 400 – 3.500 mg/l.
- Ausencia de sólidos suspendidos > 10 micras.
- Turbiedad < 2 NTU¹² (Pretratamiento con Filtro Cartucho).
- Aceites y Grasas < 1 mg/l.

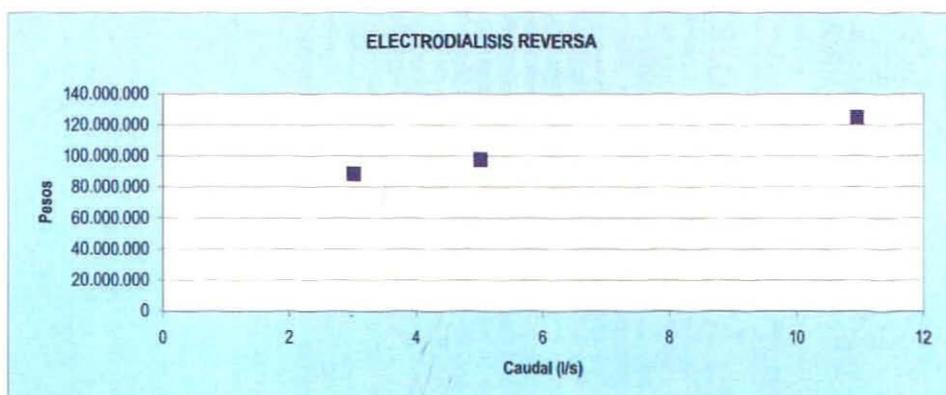
El sistema se diseña considerando el caudal, el contenido de sólidos disueltos y el amperaje de la energía eléctrica.

Parámetros que afectan su funcionamiento

La eficiencia depende de:

- Potencial de ensuciamiento biológico.
- Temperatura del agua.
- Variaciones de la turbiedad del agua a tratar.

Costo del Equipo



Fuente: United States Department of the Interior, "Water Treatment Primer for communities In Need / Report N 68", September 2001.

7. REMOCION ESPECIFICA DE IONES

La remoción específica de iones es el resultado de una combinación de procesos físicos y químicos, procesos que se ven perturbados por la presencia de iones con mayor afinidad, por lo que la viabilidad técnica y económica se debe basar en la realización de ensayos pilotos.

En la siguiente tabla se presentan algunas tecnologías utilizadas para remover iones específicos.

Tecnología	Aluminio	Arsénico	Boro	Cobre	Hierro	Manganeso	Molibdeno
Carbón Activado		☑	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
Greensand					☑	☑	
Pyrolox					☑	☑	
Alumina Activada	☑						
BIRM							
Intercambio Iónico	☑	☑	☑	☑			⊗
MTM					☑	☑	
KDF	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑

☑ Eficiente

⊗ Menos eficiente

Los estudios de calidad de agua de los ríos en Chile, revelan que un contenido de iones Sulfato y Cloruro superior a los valores límite que establece la NCh 1.333 se da en conjunto con una alta concentración de sólidos disueltos totales, por lo que su remoción está asociada al empleo de tecnologías para remover este tipo de sólidos.



TECNOLOGIA

CARBÓN ACTIVADO GRANULAR

Uso: Remueve iones, en particular arsénico con una alta eficiencia, y plaguicidas.

Descripción del sistema

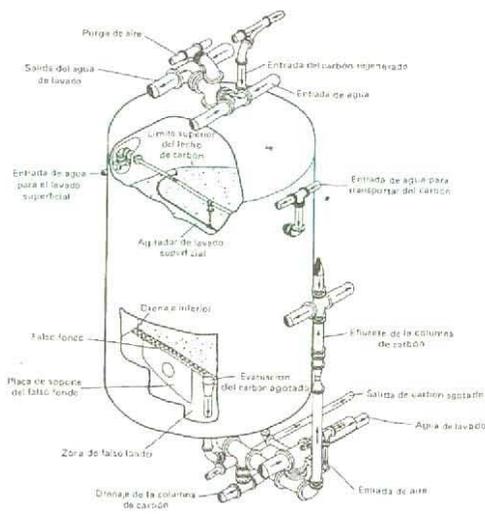
Los contaminantes se adsorben de manera no selectiva sobre la superficie de las partículas de Carbón Activado, de diámetro 0,5 a 4 mm.

El sistema comprende los siguientes componentes:

- Estanque de contacto (sistema de retro lavado y lavado superficial para flujo descendente) y estanque para agua de retro lavado.
- Mecanismos para ingresar y retirar el Carbón Activado.
- Bomba y soplador.
- Depósitos de Carbón Activado virgen y agotado (residuo¹³abrasivo y corrosivo).



Filtro de Carbón Activado Granular CAG
(Gentileza AGUASIN)



Detalle Filtro CAG
Metcalf y EDDY, Mc Graw Hill, Diciembre 1995

En el estanque¹⁴el agua interactúa con el Carbón Activado en flujo descendente o ascendente. Esta última opción es más eficiente, pero la inversión y la operación resulta más costosa.

¹³ El Carbón Activado se regenera si se utiliza más de 90 kilos al día.

¹⁴ El Carbón Activado puede reemplazarse a la antracita en Filtros Granulares Multicapas.

La calidad del agua debe cumplir con lo siguiente:

- Aceites <10 mg/l.
- Sólidos suspendidos > 50 mg/l en flujo ascendente y > 2.000 mg/l en flujo descendente.
- Bajo contenido de macromoléculas orgánicas fácilmente degradables.
- Concentración de contaminantes < 500 mg/l para remover iones y bajas concentraciones de compuestos orgánicos.

Se requiere estudios de planta piloto para determinar el tipo de Carbón Activado con su capacidad de remoción, tiempo mínimo de contacto, carga hidráulica, tasa de retrolavado, las dimensiones y número de columnas.

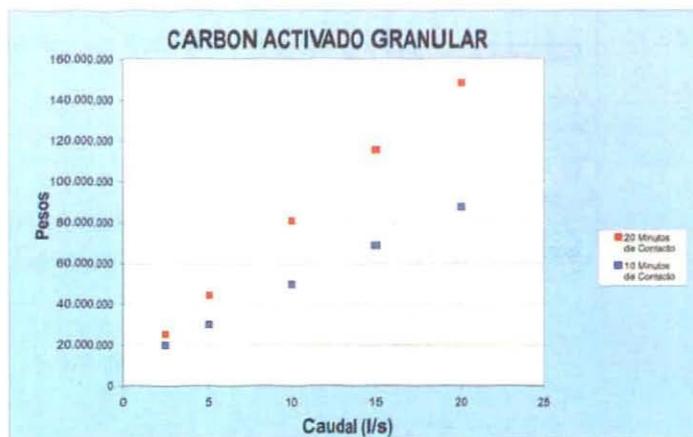
Puede absorber fluctuaciones en la concentración de contaminante, pero no aumentos de caudal que inciden en menores tiempos de contacto.

Parámetros que afectan su funcionamiento

La eficiencia de remoción se ve afectada por:

- Aumento de concentración de compuestos similares en tamaño y propiedades al del contaminante.
- Desarrollo de películas biológicas (Se evita clorando el agua del retro lavado).
- Variaciones de temperatura y pH del agua.
- Retrolavado deficiente y poco frecuente, en el caso de flujo descendente.

Costo del Equipo



Fuente: EPA, " Technologies and Costs Document for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule and Final Stage 2 Disinfectants and Disinfection By products Rule", December 2005.

TECNOLOGIA INTERCAMBIO IONICO

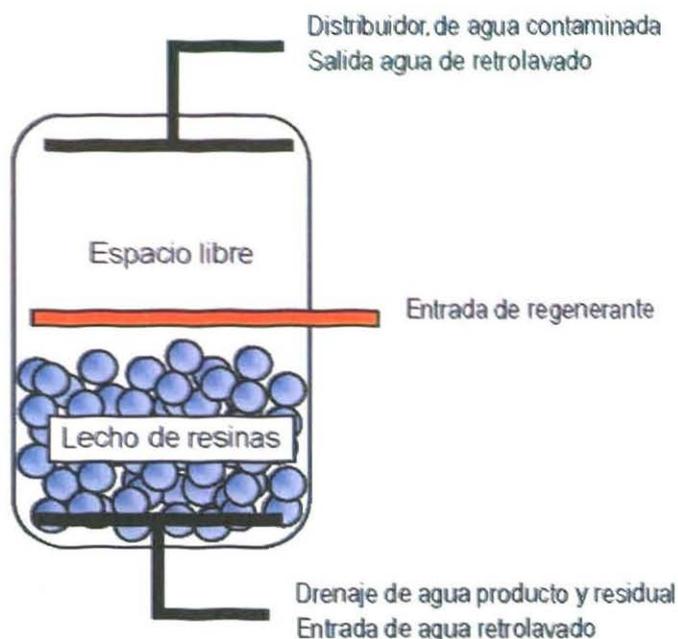
Uso: Remueve con gran eficiencia iones presentes en bajas concentraciones.

Descripción del sistema

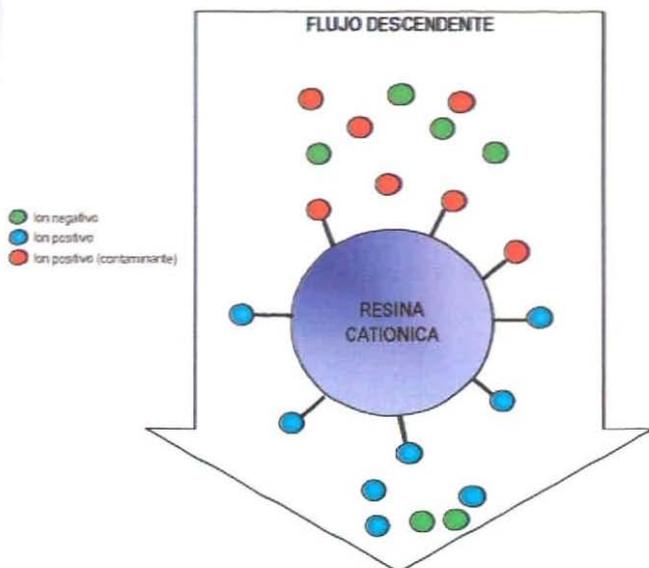
Esta tecnología emplea resinas (soporte sólido) con iones positivos o negativos en su superficie, que son removidos por iones de igual carga y de mayor afinidad presentes en el agua.

Estos sistemas comprenden los siguientes componentes:

- Estanque con distribuidor de agua, drenaje y entrada de solución regenerante.
- Resina Catiónicas (+) para remover iones positivos o Aniónicas (-) para remover iones negativos.
- Estanques para agua retro lavado y solución regenerante.
- Bombas.



Esquema Estanque de Intercambio Iónico



Proceso de Intercambio Iónico (Catiónico)

Una vez agotada su capacidad de intercambio, se realiza una secuencia de operaciones para reestablecer su operación. Primero se hace un retrolavado para remover los sólidos retenidos, a continuación se regenera su capacidad de intercambio de iones haciendo pasar una solución regenerante que produce un agua residual y finalmente se realiza un lavado con agua.

Las resinas presentan un orden de afinidad por los iones, cómo se indica en la siguiente tabla.

Resina	Más Afinidad			Menos Afinidad				
	Hierro	Aluminio	Calcio	Cobre	Magnesio	Manganeso	Amonio	Sodio
Catiónica								
Aniónica	Sulfato	Nitrato	Nitrito	Cloruro	Cianuro			

Esta tecnología permite absorber aumentos de concentración de contaminantes, no así de caudales por sobre el rango de diseño, requiriendo la instalación de equipos en paralelo. La selección de la resina para remover un ion contaminante específico se realiza mediante ensayos de laboratorio, donde se considera tanto la capacidad de intercambio de la resina como el regenerante usado.

La remoción de los iones se ve favorecida por:

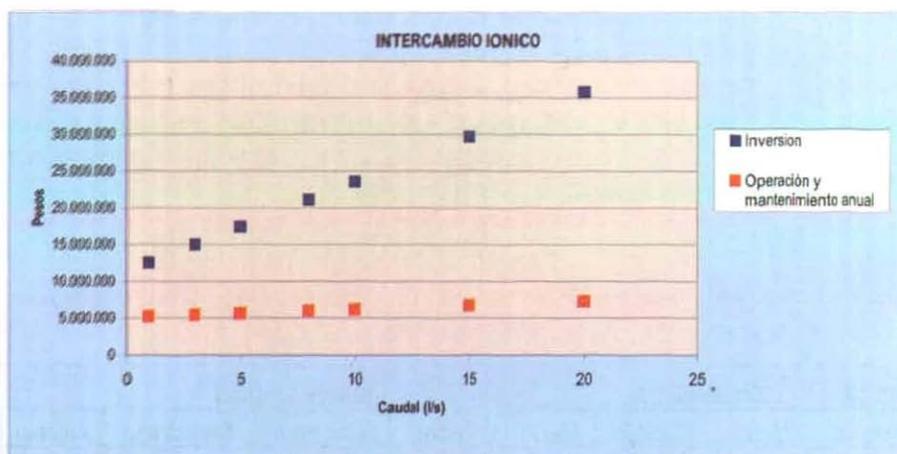
- pH 6.5 – 9.0.
- Sólidos suspendidos < 10 mg/l.
- Sólidos disueltos < 500 mg/l, sulfato < 50 mg/l, turbiedad < 0.3 NTU, nitrato < 5 mg/l.
- Ausencia de aceites y grasas.
- El agua a tratar debe tener una dureza superior a la alcalinidad. La dureza corresponde a la concentración de compuestos minerales, en particular sales de magnesio y calcio. Por su parte, la alcalinidad es la capacidad de neutralizar cambios drásticos en el pH.

Parámetros que afectan su funcionamiento

La eficiencia de remoción se ve afectada por lo siguiente:

- Descenso de la temperatura del agua.
- Presencia de compuestos químicos oxidantes.
- Aumento de la concentración de otros iones con más afinidad.
- Uso de cantidad inapropiada de solución regenerante.
- Tiempo de contacto insuficiente de la solución regenerante.
- Colmatación de las resinas por partículas de Hidróxido Férrico.

Costo del Equipo



Fuente: Washington State Department of Health, "Arsenic Treatment for Small Water Systems", November 2005.



Equipo de Intercambio Iónico
(Gentileza de AGUASIN)

TECNOLOGIA

MEDIOS FILTRANTES

GREENSAND - PYROLOX - MTM - BIRM - KDF

Uso: BIRM, Pyrolox, Greensand y MTM remueven hierro y manganeso; Greensand abate arsénico en presencia de hierro; y KDF permite eliminar bacterias, hierro y cobre, entre otros metales.

Descripción del sistema

En un estanque a presión (< 1,6 metros de diámetro) se dispone el medio filtrante que al contactar el contaminante presente en el agua lo insolubiliza y retiene por filtración, para luego retirarlo durante el retrolavado. El medio filtrante KDF se aparta de este comportamiento al remover metales por unión química y bacterias por formación de oxidantes y/o la generación de un campo eléctrico.

La calidad del agua debe cumplir con los siguientes parámetros.

Parámetro	Greensand	MTM	Pyrolox	BIRM	KDF
Aceite y Grasa		≈ 0		≈ 0	
Turbiedad (NTU)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 20
Fosfatos (mg/l)		≈ 0		≈ 0	≈ 0
H ₂ S (mg/l)	< 5			≈ 0	
Oxígeno Disuelto			Alto	15% mayor a la suma de Hierro y Manganeso	
Materia Orgánica (mg/l)				< 4 - 5	
Cloro Libre (mg/l)				< 5	
Hierro (mg/l)	< 15	< 15	Bajo	< 10	< 5
Manganeso (mg/l)	< 15	< 5	Bajo	< 10	
Alcalinidad				100% mayor a la suma de Cloruro y Sulfato	
Sólidos Disueltos (mg/l)	Bajo				< 150
Silice	Bajo				
Dureza	Baja				
pH	6.2 - 8.5	6.2 - 8.5	6.5 - 9.0	6.5 - 8.5 (1) 8.0 - 9.0 (2)	6.2 - 8.5

(1) Para remover Manganeso y Hierro.

(2) Para remover Manganeso.

Si son operados correctamente, sólo Greensand y MTM requieren ser regenerados químicamente para recuperar su capacidad de remoción, la cual puede ser continua o intermitente. Es usual disponer sobre la capa de Greensand una capa de 40 centímetros de antracita. MTM es más liviano que el Greensand, requiriendo un caudal de retro lavado menor y generando una menor caída de presión.

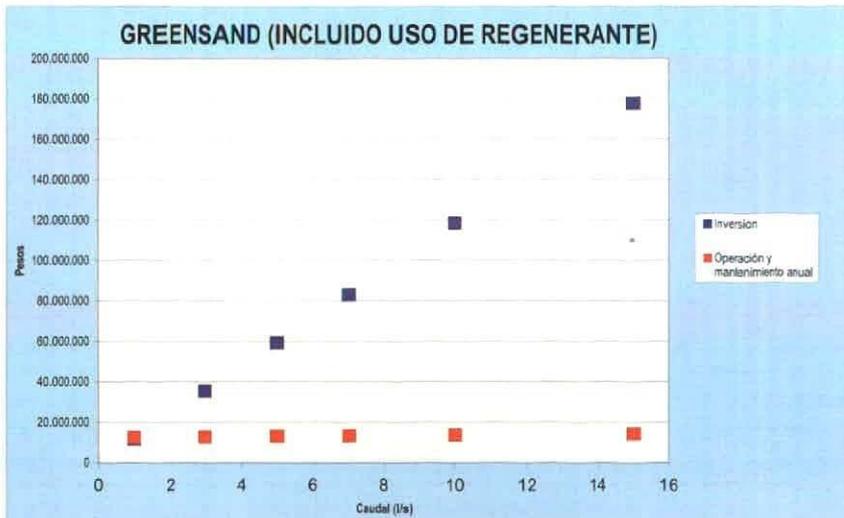
Pyrolox requiere de un retro lavado más intenso para desgastar y exponer una nueva superficial del medio filtrante.

Parámetros que afectan su funcionamiento

La eficiencia de remoción se ve afectada por lo siguiente:

- Usar Greensand y MTM sin regenerar, disminuye su vida útil.
- La regeneración intermitente reduce a la mitad la capacidad de remoción del Greensand.
- La cantidad de regenerante empleado.

Costo del equipo



Fuente: Washington State Department of Health, "Arsenic Treatment for Small Water Systems", November 2005.



Medio Filtrante

TECNOLOGIA ALUMINA ACTIVADA

Uso: Remoción de arsénico.

Descripción del sistema

Consiste en un estanque relleno con partículas de Alumina Activada la que en contacto con el agua intercambia un ion de su superficie por el arsénico y una vez agotada su capacidad de remoción se retira y regenera químicamente.

Para un funcionamiento óptimo, la calidad del agua debe cumplir con lo siguiente:

- pH 5.5 – 6.0.
- Cloruro <250 mg/l, sulfato <360 mg/l, hierro <0.5 mg/l, manganeso <0.05 mg/l, carbono orgánico total <4 mg/l, sílice <30 mg/l, sólidos disueltos <1.000mg/l.

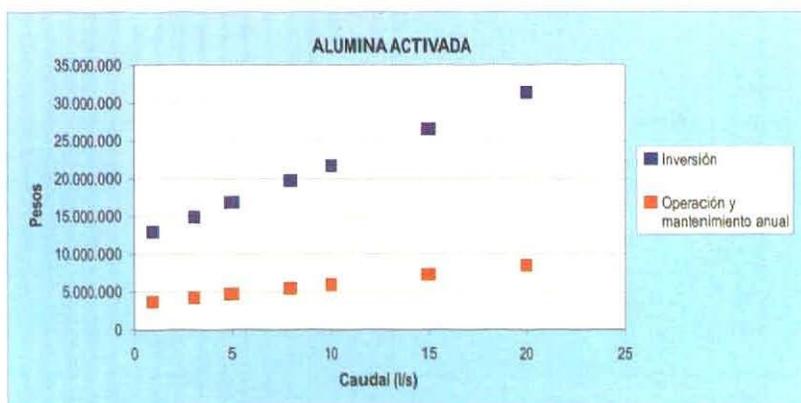
Lo que caracteriza a estos sistemas es su funcionamiento simple y seguro, lo que los hace aconsejables para pequeñas plantas que no cuentan con personal disponible todo el tiempo para su operación.

Parámetros que afectan su funcionamiento

La eficiencia se ve afectada por:

- Cada regeneración reduce en un 5 – 10% la capacidad de remoción.
- Variaciones en la calidad del agua.

Costo del Equipo



Fuente: Washington State Department of Health, "Arsenic Treatment for Small Water Systems", November 2005.

8. VALIDACION DE TECNOLOGIAS

8.1 Unidad Tecnológica Demostrativa

Como parte del Programa "Validación y Difusión de Tecnologías para la Prevención y Mitigación de la Contaminación de las Aguas de Riego" de la CNR, se estableció una Unidad Tecnológica Demostrativa en la Escuela Agrícola Fundo Quimávida, comuna de Coltauco, VI Región. Esta unidad se diseñó para validar tres tecnologías de tipo intra-predial, que permitieran resolver los problemas de contaminación de las aguas de riego producida por coliformes fecales.

Tecnologías seleccionadas:

- Ultravioleta (UV).
- Filtración con Bolsas (Microfiltración).
- Ozono.

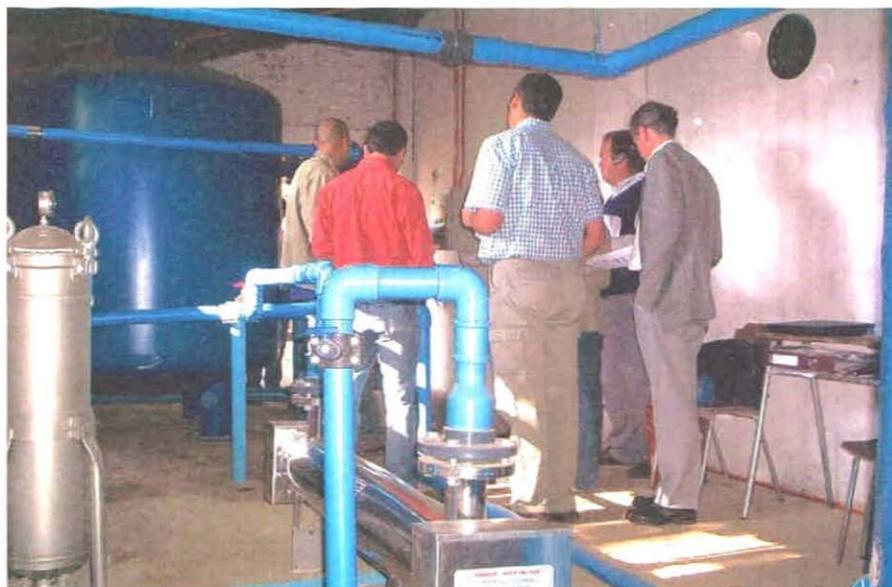


Cartel Entrada Unidad Tecnológica Demostrativa

Adicionalmente se instaló en los últimos meses del programa, el prototipo de una nueva tecnología conocida como Eco Bio Block (Ver Anexo N°4), respondiendo a la búsqueda de nuevas alternativas tecnológicas que pueden tener aplicación en el tratamiento de agua de riego.

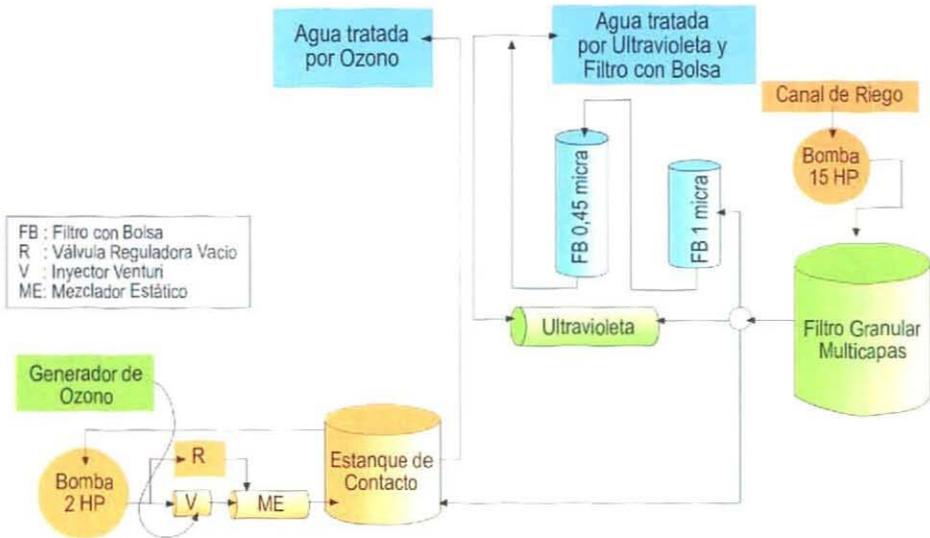
En la presente tabla se comparan las ventajas y desventajas en la operación, de los equipos de tratamiento instalados.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
UV	<p>Requiere poco espacio. Tolera mayor turbiedad. Mayor eficiencia de remoción de coliformes fecales. Fácil de operar. Puede operar a alta presión. Tecnológicamente sencillo de acoplar para tratar más caudal. No le afecta la humedad relativa del aire. Su operación no genera residuos.</p>	<p>Requiere de una limpieza química con una frecuencia que depende del contenido de materia orgánica e inorgánica disuelta en el agua.</p>
Ozono	<p>Su operación no genera residuos. Oxigena el agua de riego lo que favorece al cultivo.</p>	<p>Requiere más espacio. Menor eficiencia de remoción de coliformes fecales. No puede operar a alta presión. No es tecnológicamente sencillo de acoplar para tratar más caudal. Mayor consumo de energía. Operación más compleja por que le afecta la humedad relativa y temperatura del aire, el mezclamiento, variaciones en la turbiedad y otros elementos presentes en el agua que consumen Ozono.</p>
Filtración con Bolsas	<p>Requiere poco espacio. Tolera mayor turbiedad. Fácil de operar. Tecnológicamente sencillo de acoplar para tratar más caudal. No le afecta la humedad relativa del aire. No le afecta la presencia de materia orgánica e inorgánica disuelta. Menor consumo de energía (asociado a la caída de presión).</p>	<p>Menor eficiencia de remoción de coliformes fecales. Requiere mayor mano de obra en la operación. No puede operar a alta presión. Su operación genera residuos sólidos (bolsas).</p>



Vista Interior Unidad Tecnológica Demostrativa

En el siguiente esquema se muestra la disposición de las tecnologías en la Unidad de Validación Tecnológica. En condiciones reales de trabajo en un predio, en cada una de las tecnologías se puede optar por equipos de mayor o menor tamaño o disposición en paralelo para tratar caudales mayores.



Dado que la eficiencia y eficacia de estas tecnologías dependen del contenido de sólidos en el agua a tratar, se decidió realizar un tratamiento previo con un Filtro Granular Multicapas (a presión), diseñado para retener partículas mayores a 15 – 20 micras. Se adquirió en el mercado nacional un equipo para tratar 15 litros por segundo, con un costo de \$5.300.000.



Filtro Granular Multicapas

8.2 Filtración con Bolsas (Microfiltración)

El tamaño de los coliformes fecales varía entre 0.2 – 1.2 micras, por lo que un filtro de 0.45 micra es capaz de removerlos con mayor eficiencia que la reportada en otros sistemas de filtración de poros de mayor tamaño.

Se dispuso en primer lugar una carcasa con un filtro de 1 micra, para retener las partículas entre 1 – 15 micras que no son retenidas por el Filtro Granular Multicapas y así prolongar la vida útil de la bolsa de 0.45 micras, que se instaló en la carcasa siguiente. Las dos carcavas son de origen brasileño, marca Eaton, y son comercializadas en Chile por la empresa Walbaum Ltda. El costo de inversión de este sistema fue de \$ 3.900.000 más IVA, para tratar un caudal de 4 litros por segundo.



Tren de filtración de 1 micra y 0.45 micra

Esta tecnología es más eficaz cuando existe una mayor cantidad de sólidos suspendidos en el agua. La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos a la salida del filtro de 0.45 micra.

Mes	Nº Registros	Eficiencia de remoción promedio (%)	% Registros con <1.000 coliformes fecales/100 ml
Enero 2007	5	41	75
Febrero 2007	6	19	50
Marzo 2007	7	8	0
Abril 2007	6	47	0
Mayo 2007	7	0	0

Los resultados alcanzados demuestran que este sistema operando a caudales de 1 a 4 litros por segundo, es de una eficacia variable y por lo tanto no confiable en todos los casos. Sin embargo, esta tecnología podría formar parte de un sistema de apoyo, previo al uso de una alternativa más eficaz en la remoción de coliformes fecales.

La remoción de coliformes fecales es más eficiente a mayor turbiedad, lo que se debería a la captura de aquellos que están adheridos a partículas sólidas filtrables presentes en el agua.

8.3 Ultravioleta

El equipo de radiación Ultravioleta adquirido a la empresa argentina Novarsa es marca Aquafine, fabricado en Estados Unidos. El costo total de la inversión fue de \$ 5.400.000 IVA incluido para tratar un caudal de 7 litros por segundo, con un contenido de coliformes fecales de 100.000 NMP/100 ml de agua (de acuerdo a datos del fabricante) y una transmitancia de 85%.

El equipo dispone de 2 lámparas UV de baja presión, de intensidad 40 mJ/cm² y puede operar hasta una presión máxima de 150 psi.



Equipo Ultravioleta

Como se muestra en la siguiente tabla, los resultados obtenidos en el rango de diseño muestran que esta tecnología permite alcanzar el valor guía de la norma NCh 1.333 de menos de 1000 Coliformes fecales NMP/100 ml. También se entregan los valores finales cuando se opera fuera del rango de diseño, a mayor caudal y mayor turbiedad, lográndose siempre a la salida contenidos de coliformes fecales menores a 1.000 NMP/100 ml.

Función estadística	32 Registros Caudal de 7 l/s y < 40 NTU		1 Registro Caudal de 7 l/s y 150 NTU		3 Registros Caudal de 10 l/s y < 40 NTU	
	Entrada Reactor UV	Salida Reactor UV	Entrada Reactor UV	Salida Reactor UV	Entrada Reactor UV	Salida Reactor UV
	NMP Coliformes fecales/100 ml	NMP Coliformes fecales/100 ml	NMP Coliformes fecales/100 ml	NMP Coliformes fecales/100 ml	NMP Coliformes fecales/100 ml	NMP Coliformes fecales/100 ml
Promedio	3.723	5	3.500	350	1.907	2
Máximo	16.000	33			2.400	2
Mínimo	540	<2			920	<2

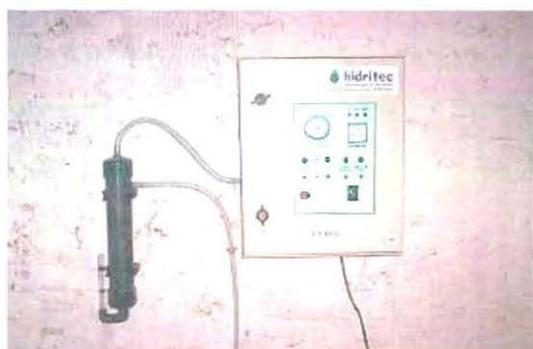
Se realizó un ensayo con agua de elevado contenido de coliformes fecales, el cual demostró que el equipo es capaz de tratar concentraciones superiores a las de diseño. Todos los resultados avalan una alta eficacia de tratamiento con esta tecnología, lo que constituye una herramienta de gran ayuda para la mitigación de la contaminación bacteriológica de las aguas de riego.

8.4 Ozono

Para la remoción de coliformes fecales con ozono se puede realizar diferentes diseños de instalación, dependiendo de la forma de inyectar el ozono al agua a tratar y de la manera en que se logra el contacto entre el ozono y los coliformes fecales. El sistema validado corresponde a Ozonización por "Recirculación" y sus componentes se adquirieron a la empresa española HIDRITEC por un valor de \$5.600.000 IVA incluido.

Componentes importados:

- Generador de Ozono de 12 gramos/hora.
- Inyector Venturi.
- Mezclador estático.
- Bomba de recirculación.



Equipo Generador de Ozono



Recirculación para inyección de Ozono

El quinto componente, que corresponde al estanque de contacto de un metro cúbico, se confeccionó en Chile de acuerdo a las especificaciones dadas por la empresa HIDRITEC.

El sistema se diseñó para las siguientes condiciones:

- 100.000 coliformes fecales/100 ml a la entrada.
- Tiempo de contacto de 2.5 minutos.
- Caudal máximo de 4 litros/segundo.
- Pérdida de eficiencia en la capacidad de generación de Ozono, por el nivel de humedad relativa del ambiente.

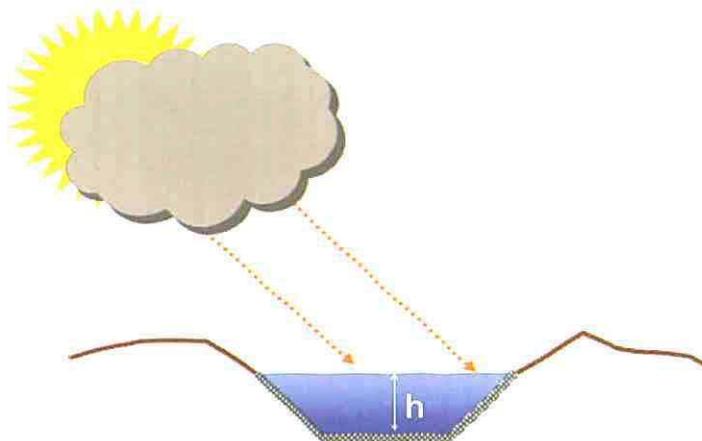
Un costo comparable a los otros dos sistemas, fue uno de los criterios de selección del sistema de ozonización.

El sistema seleccionado todavía se encuentra en etapa de rediseño y estudio, debido a que las pruebas obtenidas no permiten avalar todavía su uso en el tratamiento de coliformes fecales en las actuales condiciones de instalación y calidad del agua. Algunas de las variables que podrían estar incidiendo en los resultados son las siguientes: el consumo de ozono por otros compuestos presentes en el agua, inestabilidad química del ozono a mayor temperatura ambiente, mal mezclamiento dentro del estanque de contacto y baja difusión del ozono desde la burbuja de aire al agua, por baja presión de trabajo. No obstante lo anterior, se seguirán realizando cambios y nuevas pruebas para determinar la viabilidad de poder utilizar esta tecnología en condiciones reales de riego.

9. OTRAS EXPERIENCIAS NACIONALES

9.1 Remoción de Bacterias por Fotocatálisis

El Laboratorio de Hidrología Ambiental del Departamento de Recursos Hídricos de la Universidad de Concepción está trabajando¹⁵ en la remoción de bacterias del agua de riego por la acción de oxidantes, los cuales son generados por la reacción entre fotones de la luz solar y catalizadores. Estos últimos están inmovilizados en el hormigón que reviste el canal de riego.

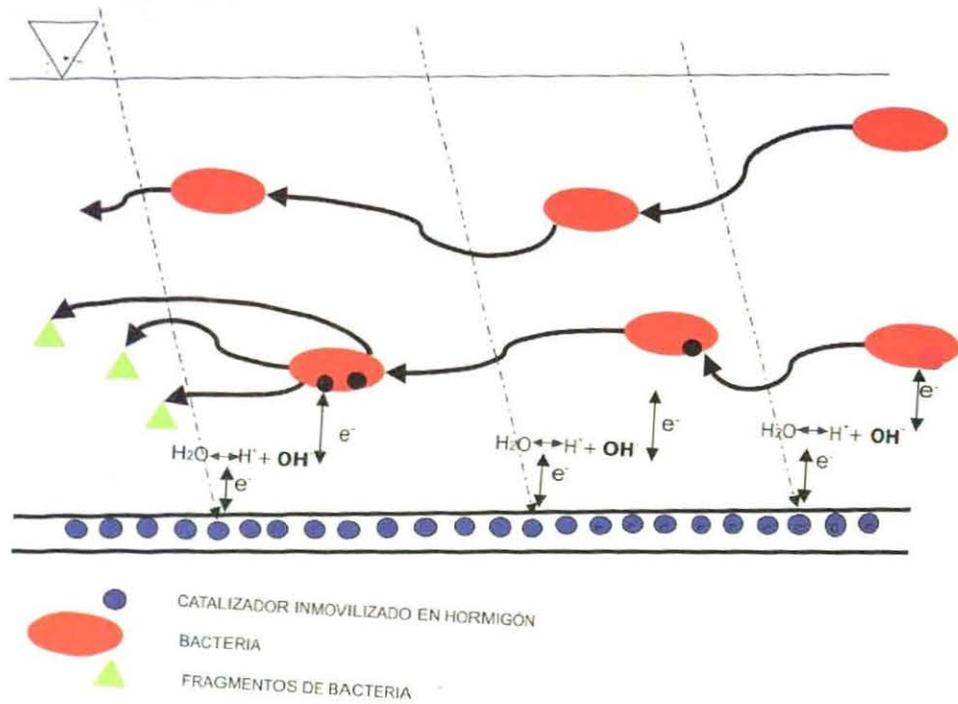


Canal Revestido de Hormigón con Catalizadores

La acción oxidante se debe a los radicales hidróxilos (OH^\cdot) generados por un flujo de electrones, proceso gatillado por la incidencia de la luz solar sobre los catalizadores. Como se ve en la siguiente figura, las bacterias que pasan por la frontera sólido - líquida, donde se da el flujo de electrones, son las que se remueven.

¹⁵ Proyecto de Innovación de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA).

Persona de contacto: José Luis Arumí R.



Detalle Funcionamiento del Catalizador

Para que sea eficiente la remoción de bacterias, se requiere que el caudal tenga una turbulencia que permita que las bacterias entren a esta frontera sólido - líquida.

La Fotocatálisis tiene las siguientes ventajas frente a otras tecnologías convencionales:

- No consume agentes oxidantes de alto valor.
- Mínimo consumo de energía de mantenimiento y nulo consumo energético externo (sólo radiación solar).
- Los oxidantes producidos son de alto poder y de amplio espectro de acción.
- Puede ser aplicable en zonas rurales o de difícil acceso.

La Universidad de Concepción está trabajando en:

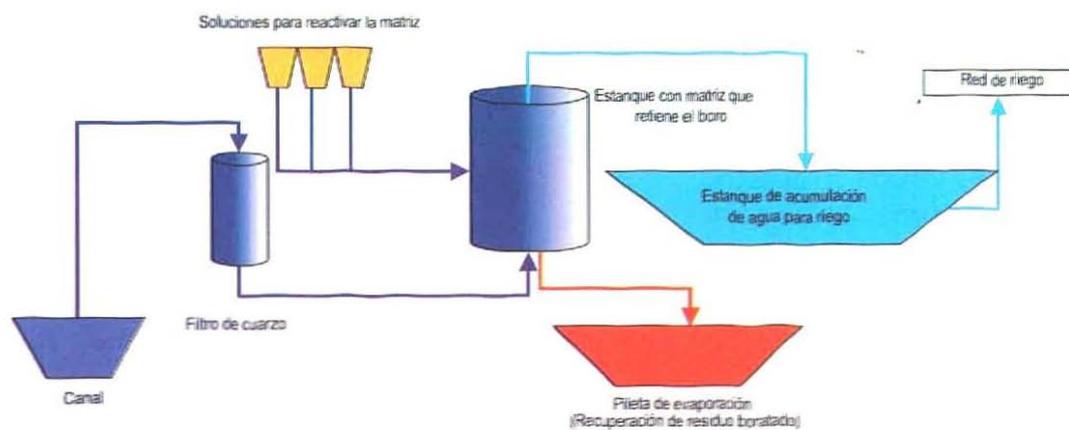
- Aplicar esta tecnología en el sector agrícola, considerando que ha sido probada exitosamente en otros sectores productivos.
- Realizar pruebas de laboratorio y simulación, que permitan establecer las condiciones de diseño de los sistemas de Fotocatálisis.
- Establecer una metodología para el diseño de sistemas de desinfección de aguas de riego con Fotocatálisis, aplicable a la agricultura.

9.2 Remoción de Boro

El Departamento de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Tarapacá, desarrolló un Proyecto denominado "Remoción de Boro del Agua para uso en Riego", dando respuesta a un problema de contaminación de origen natural en el norte de Chile.

Este sistema permite reducir el contenido de Boro desde una concentración de 15 mg/l a una concentración de 0.67 mg/l y puede tratar aproximadamente 60.000 litros antes de ser necesaria su regeneración.

El sistema consiste en un estanque relleno con una matriz sólida, en la cual se adsorbe el Boro del agua. Una vez agotada la matriz, ésta se regenera con una combinación de productos químicos que liberan el Boro. El agua residual se dispone en piscinas donde se evapora el agua y queda Borato como residuo sólido.

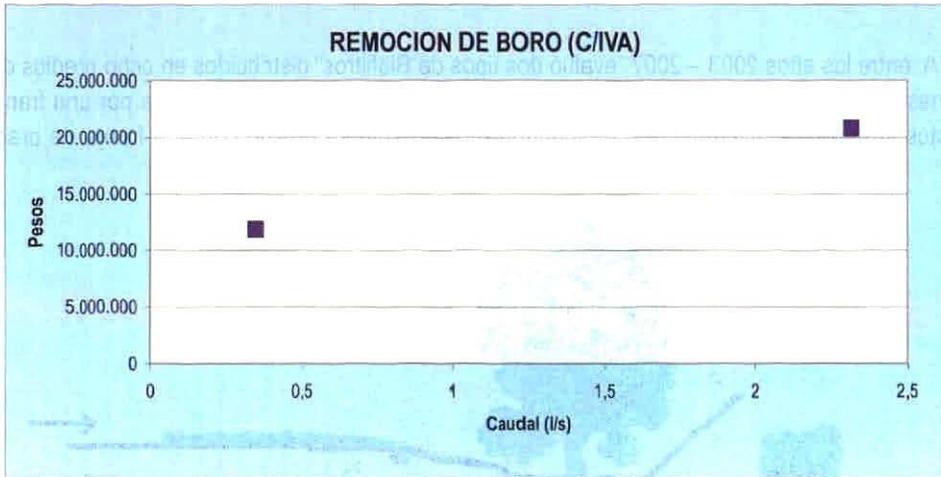


Esquema Sistema de Tratamiento de Boro

¹⁸ Proyecto de Innovación de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA).
Persona de contacto: José Luis Arumí R.

Para que el sistema opere correctamente, es deseable que el agua tenga un bajo contenido de sólidos suspendidos.

El costo variable del sistema se encuentra entre \$15,2 – \$56,5 pesos/m³, dependiendo del nivel de Boro en la entrada y el nivel requerido a la salida.



Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por Universidad de Tarapacá.

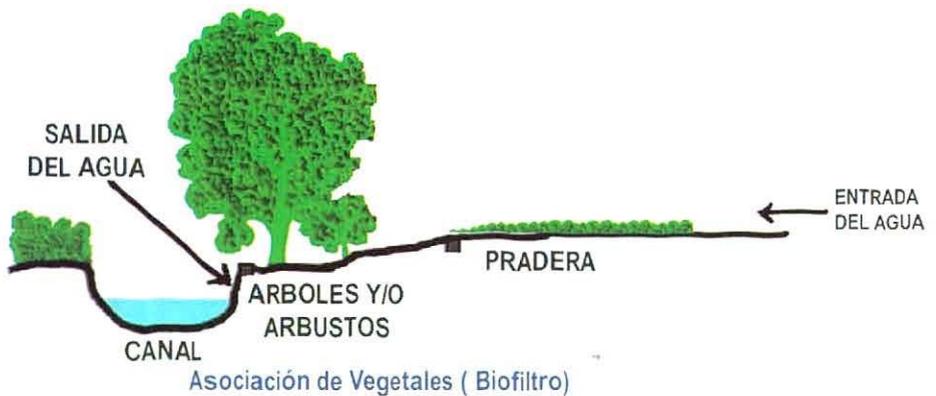


Maíces híbridos en el Valle de Lluta regados con agua disminuida en su concentración de Boro

9.3 Biofiltros

Los Biofiltros corresponden a una asociación de vegetales que se establece en una franja de terreno conectada hidráulicamente aguas abajo de un potrero de cultivo. El agua que se ha utilizado para riego gravitacional, al pasar por esta franja vegetal es sometida de forma natural a diversos mecanismos de remoción (físicos, químicos y microbiológicos) que permiten eliminar del agua partículas sólidas, nitrógeno, fósforo, materia orgánica y plaguicidas.

El INIA, entre los años 2003 – 2007, evaluó dos tipos de Biofiltros¹⁷ distribuidos en ocho predios de las regiones VI y VII. En un tipo de Biofiltro se dispuso una franja de pradera seguida por una franja de arbustos y/o árboles, mientras que el segundo Biofiltro sólo se diseñó con una franja de pradera.



La eficiencia de estos sistemas depende de:

- Cantidad de sedimento en el agua a tratar, que es función de las prácticas agrícolas.
- Tiempo de retención del agua, que es función del ancho y composición vegetal del Biofiltro.
- Tipo de flujo, siendo recomendable que sea laminar y que no se produzcan canalizaciones del agua. Esto se logra con altura de corte de pasto no superior a 15 cm ni inferior a 5 cm.
- Adecuada selección de las especies vegetales.

¹⁷ Proyecto Fondo SAG

Personas de contacto:

Francisco Tapia F.(Centro Regional La Platina); José María Peralta A.(Centro Regional Carillanca); Abelardo Villavicencio P. (Centro Regional Rayentué); y Jorge Riquelme S.(Centro Regional Raihuén).

ANEXO N°1

MUESTREO DE AGUA

Para evaluar el nivel de contaminación del agua de riego, se requiere que las muestras sean representativas de la situación que se da en la fuente de agua, lo que implica diseñar un programa de muestreo y realizar una correcta manipulación de las muestras.

Teniendo como base la norma NCh 411/6.Of98 " Calidad del Agua-Muestreo - Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua", un programa de muestreo debe considerar al menos lo siguiente:

1. Establecer e identificar los puntos de muestreo.
2. Precisar el tipo y material de los equipos de muestreo, con el objetivo de que éstos sean compatibles con los parámetros a analizar y las condiciones de su empleo.
3. Número de muestras basado en la frecuencia y periodo de muestreo, que corresponde a la temporada de riego y en la peor situación de contaminación de las aguas.

Aspectos técnicos relevantes

Parámetro	Tipo de Envase	Operaciones comunes en la preparación del envase	Volumen muestra (litro)	Tiempo almacenamiento máximo en envase	Preservación requerida
Coliformes fecales	V	Enjuague	0,25	24 horas	2 - 4 °C
Aceite y grasa	VBA		1	28 días	pH<2(HCl)
Demanda Química Oxígeno	V o P	Baño 50° C por 15 minutos	0,1	7 días	pH<2(HNO3)
Metales	P	Ultrasonido c/detergente neutro	1	6 meses	pH<2(HNO3)
Cloruro y Sulfato	V o P	libre de fosfato/ Baño ácido	0,1	28 días	2 - 4 °C
Color Verdadero	V o P		0,5	48 horas	2 - 4 °C
Turbiedad	V o P	Baño sulfocrómicos	0,1	24 horas	2 - 4 °C
Sólidos Suspendidos	V o P		1	7 días	2 - 4 °C
Conductividad	V o P	Enjuagues y secar	0,5	28 días	2 - 4 °C
Litio	V o P		0,1	6 meses	pH<2(HNO3)
pH	V o P	Esterilizar	0,1	En terreno (1)	2 - 4 °C

V : Vidrio

VBA : Vidrio Boca Ancha

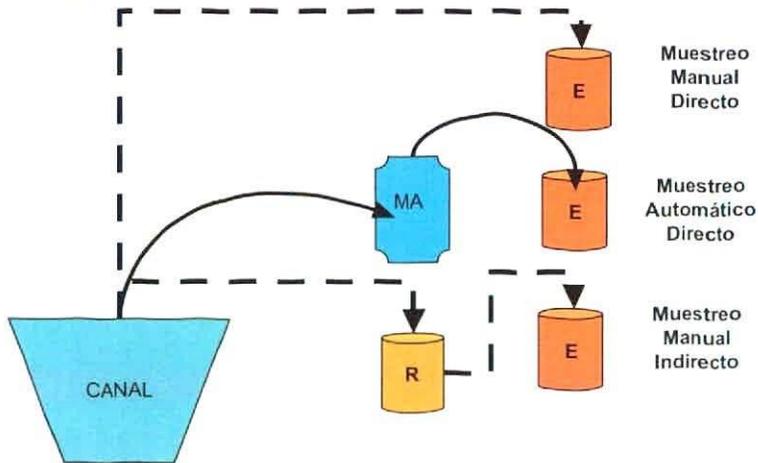
P : Plástico

(1) Se recomienda medirlo inmediatamente.

4. Documento "Cadena de Custodia", que permite consignar por escrito quién tomó la muestra y la entregó al laboratorio, tipo de preservación de la muestra, días y horas de muestreo y posterior recepción.
5. Protocolos de calibración y patrones para la lectura de parámetros de terreno.
6. Registros de terreno que permitan consignar condiciones ambientales en el punto de muestreo (por ejemplo, color del agua, presencia de sólidos flotantes, películas de grasa), ajuste de calibración realizada y estado o mantenimiento de equipos empleados.
7. Envases apropiados y adecuadamente preparados en el laboratorio.

8. Muestreo manual o automático

El muestreo manual se utiliza para parámetros en que el agua contaminada debe entrar en contacto con el envase que va al laboratorio (Ej: aceites y grasas, coliformes fecales) . Se muestrea en forma automática cuando la persona no pueda acceder al punto de muestreo y en los casos en que no haya incompatibilidad entre los parámetros y el dispositivo para tomar la muestra.

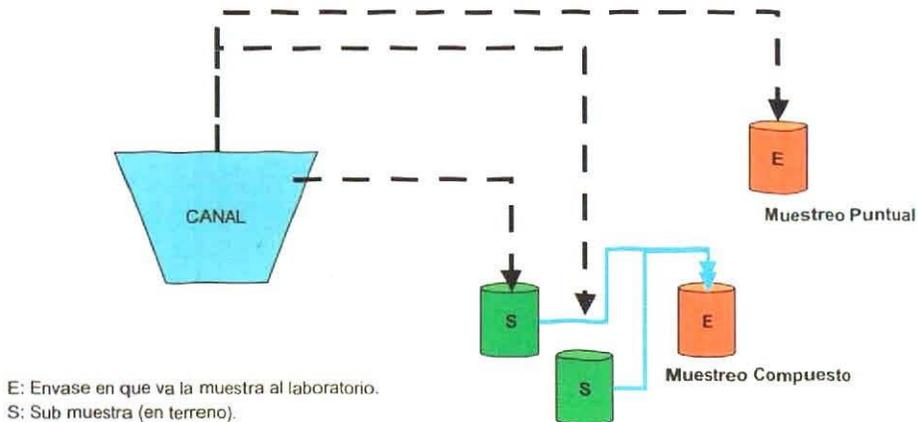


E: Envase en que va la muestra al laboratorio.
R: Recipiente intermedio (en terreno).
MA: Muestreador automático.

9. Muestra puntual o compuesta

La muestra puntual permite determinar valores máximos y mínimos de calidad de agua en un punto determinado, en tanto que el muestreo compuesto, conformado por submuestras, establece una situación promedio para el período de muestreo.

La muestra compuesta corresponde a la mezcla de diferentes submuestras tomadas en un lapso de tiempo predefinido, las cuales deben ser de igual volumen. Se recomienda este tipo de muestra si se sospecha de una gran variación de la calidad del agua en el tiempo.



E: Envase en que va la muestra al laboratorio.
S: Sub muestra (en terreno).

Hay parámetros que sólo se pueden medir a través de muestras puntuales y otros que permiten el uso de muestras puntuales o compuestas.

Tipo de muestra según parámetros

Puntual	Puntual o Compuesta
Coliformes fecales	Sólidos Suspendidos
Aceites y grasas	Demanda Química de Oxígeno
Turbiedad	Alcalinidad
Temperatura	Iones
pH	Color Verdadero
Oxígeno Disuelto	
Transmitancia	

En la determinación de la concentración de un parámetro, la mayor desviación del valor real se puede generar en la toma de muestra y para evitarlo se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones, según ámbito:

Materiales

- Empleo de envases inertes y que impidan el paso de la luz.
- Eficiente programa de preparación de los envases.
- Equipo de muestreo con programa de inspección y mantenimiento.

Muestreo

- Agitar muestra en el contenedor intermedio antes de transvasar a envases.
- Llevar volumen de muestra solicitado por el laboratorio.
- No llenar (espacio de cabeza) el envase para coliformes fecales.
- Tomar muestras para coliformes fecales 10 cm por debajo de la superficie de la fuente de agua de riego.
- No enjuagar envases para aceites y coliformes fecales.
- Tener una baja relación superficie/volumen de los equipos de muestreo.

Manipulación de muestras en envases

- Almacenamiento temporal en zonas con poca luz y de baja temperatura.
- Verificar pH en muestras preservadas.
- Usar preservante químico de alta pureza y concentrado.

Muestreo automático

- Verificar que la manguera de succión no esté obstruida.
- No usar mangueras de succión en muestreo de partículas sólidas.
- Velar por la limpieza de la manguera de succión para evitar el desarrollo de actividad microbiana.
- Utilizar mangueras de succión cortas y enjuagar 2 a 3 veces con el agua de riego antes de tomar la muestra.
- Utilizar velocidades de succión altas y constantes.

ANEXO N°2 PROVEEDORES DE TECNOLOGIAS

EMPRESA	Ultrafiltración	Ultravioleta	Microfiltración	Carbon Activado	Greensand	KDF	Alumina Activada	MTM	Filtro de Cartucho	Filtros de Balsa	Ozono	Electrodialisis	Intercambio Iónico	TELEFONO	PAGINA WEB	OFICINAS (CIUDADES O REGIONES)	AÑOS EN EL MERCADO
Aguamarket														02-2350857	www.aguamarket.com	Santiago	20
Agua Purificadas Ltda.														02-6341664	www.aguapur.cl	Santiago, Concepción	30
Aguasin														02-2709500	www.aguas.in.cl	II, VIII, X y R.M.	45
Agua Sipa Ltda.														02-8413916	www.aguassipa.cl	Santiago	15
Aquaclean														02-7736242	www.aquaclean.cl	Santiago	10
Amitek														02-3334914	www.amitek.cl	Santiago	10
Ashbrook Chile S.A														02-2247858	www.ashbrookcorp.com	Santiago	5
BAPA														02-3780060	www.bapa.cl	Santiago	10
Biolight S.A														02-2746343	www.biolight.cl	VII, VIII, X y R.M.	15
Cotaco														02-5828800	www.cotaco.cl	I, II, III, V, VI, VII, IX, X y R.M.	45
Ecozone														02-2366716	www.ecozone.cl	Santiago, Chillán y Concepción	3
Filtración Sirena														02-2245660	-----	Santiago	27
Fluid Systems Chile Ltda.														55-385812	www.fluidssystemschi.cl	Antofagasta	7
Global Water Sistem S.A														02-6231877	www.globalwater.cl	Santiago	3
Hidroquality Ltda.														02-8330817	www.hq.cl	Santiago	8
Hidrolatina de Chile Ltda.														02-2049120	www.hidrolatina.cl	Santiago y Antofagasta	15
Kellner Chile Ltda.														02-2220404	www.kellnerchile.cl	Santiago	12
Manantial Chile S.A														02-3353905	www.manat.al.cl	Santiago	15
Proequipos Ltda.														02-5270483	www.proequipos.com	Santiago	20
Prochem														02-4248110	www.prochem.cl	Santiago	15
Tecsinox														02-3175966	www.tecsinox.cl	Santiago	3
Vigaflow														02-3315080	www.vigaflo.cl	Santiago	5
walbaum Ltda.														02-2351020	www.walbaumchile.cl	Santiago	10
Ge Betz Chile Ltda.														02-3966000	www.gebetz.com	Santiago y Concepción	60
Soluciones Industriales S.A														02-7968600	www.solucionesindustriales.cl	Santiago	12
Inquinat Chile Ltda.														02-2314959	www.inquinat.cl	Santiago	40

Fuente: Elaboración propia con datos aportados por las empresas.

ANEXO N°3

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para su adecuado funcionamiento, los sistemas de tratamiento requieren que su diseño considere parámetros específicos con el fin de no afectar su eficiencia y eficacia. A continuación se presentan los parámetros de diseño para algunas tecnologías con sus valores o rangos específicos.

Intercambio Iónico

Parámetro	Valor o rango
Altura del lecho	0,75 – 1,50 metros
Carga hidráulica agua a tratar	4,5 – 11,2 l/seg./m ³
Capacidad resina catiónica	400 - 500 miligramos por litro de resina
Capacidad resina aniónica	350 – 750 miligramos por litro de resina
Carga hidráulica agua lavado	2,1 – 3 l/seg./m ³
Flujo regenerante	2,1 – 4,5 l/seg./m ³
Volumen lavado	4 – 13,4 m ³ (10 – 30 litros/litro resina)
Expansión del lecho en retro lavado	50 – 75%

Carbón Activado Granular

Parámetro	Valor o rango
Altura del lecho	3 – 9 metro (valores típicos de 4.5 – 6.0 metros)
Carga hidráulica ascendente	3 – 7 (l /m ² /s)
Carga hidráulica descendente	2 – 3 (l /m ² /s)
Expansión del lecho	50% altura lecho
Tiempo de contacto	10 – 50 minutos

Ultravioleta

Parámetro	LP (Baja Presión)	LPHO (Baja Presión Alta Emisión)	MP (Presión Media)
Consumo (W)	5.0 - 75.0	150 - 1500	250 - 11250
Temperatura (°C)	Optima 40	130 - 200	600 - 900
Conversión de energía a UV germicida (%)	35 - 38	30 - 40	10 - 20
Número relativo de lámparas para una dosis requerida	Alta	Media	Baja
Vida útil (horas)	8000 - 10000	8000 - 12000	3000 - 5000

Microfiltración y Ultrafiltración

Criterio	Rango típico para agua de beber
Tasa de flujo Caudal por área membranas	<2 NTU 50 – 90 (l /m ² /h) 2 -10 NTU 40 – 60 (l /m ² /h) > 10 NTU < 50 (l /m ² /h)
Recuperación	95 – 98%
Máxima tasa de cambio de caudal por minuto	1.5 – 5%
Intervalos de retro lavado y limpieza química (CIP)	Retro lavado: 15 – 40 minutos
	CIP: 30 – 40 día
Duración membrana	> 5 años

Alumina Activada

Parámetro	Valor o Rango
Tasa media de carga (l /s /m ²)	14 - 68
Tiempo de contacto inicial (minuto)	0,5 - 5
Profundidad del medio (metro)	0,6
Vida media (mes)	6 - 36
Capacidad de remoción gr. As /Kg alumina	50
Caída de presión (psi)	< 1

Medios Filtrantes

Parámetro	Greensand	MTM	PYROLOX	BIRM	KDF
Caída de presión máxima (psi)	2	< 1	< 1	< 1	< 10
Caudal específico (l /s /m ²)	1,4 - 3,3	1,4 - 3,4	3,3	2,2 - 3,6	10 - 21
Regeneración química (1)	Si	Si	No	No (2)	No
Vida útil (año)	8 - 10			8 - 10	
Profundidad del lecho (metro)	0,7 - 0,9	0,6 - 0,9	> 0,6	0,7 - 0,9	0,3 - 0,6
Caudal retro lavado (l /s /m ²)	8 - 9	6 - 7	17 - 21	7 - 8	
Expansión del lecho (%)	35 - 50				10 - 15
Capa superior antracita (metro)	0,4 - 0,9				

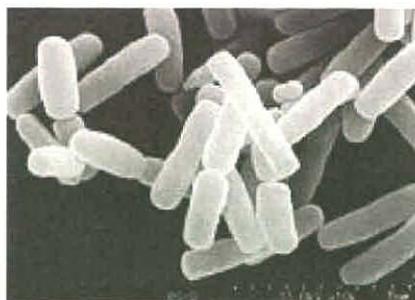
(1) Regeneración continua o intermitente, con una solución diluida de Permanganato de Potasio. Para la regeneración del hierro es recomendable la regeneración continua.

(2) Bajo condiciones apropiadas de operación.

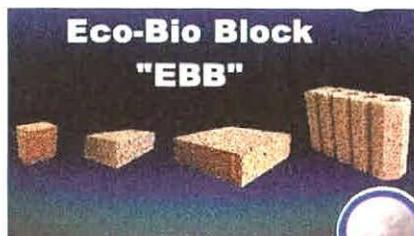
ANEXO N°4 ECO BIO BLOCK (EBB)

Tecnología de la naturaleza para aumentar la calidad del agua

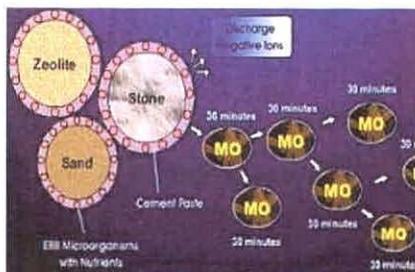
Compuesto por piedras volcánicas ricas en minerales, que por su estructura de finos poros resulta óptima para que los microorganismos puedan habitarlas. EBB está hecho de una mezcla de pasta conteniendo piedras volcánicas, cemento fuertemente alcalino, agua y la bacteria efectiva (Bacteria "Bacilo del poroto de soja fermentado") sellada en un estado vivo y propagable.



El bacilo se activa al contacto con el agua, iniciándose su propagación y salida de la piedra volcánica. Estos microorganismos controlarían la población de coliformes fecales al utilizarlos como alimento para su reproducción. En EBB, la bacteria se propaga continuamente, y la materia orgánica es degradada a dióxido de carbono y agua, por lo cual este efecto es logrado permanentemente. Los bloques se encuentran en tamaños y formas desde 0.85 a 10.5 kilos.



EBB elimina coliformes fecales por la acción de un microorganismo, que se reproduce cada 30 minutos a partir de "bacilos" que se encuentran encapsulados con una pasta alcalina a base de cemento, dentro de finas estructuras internas de una piedra porosa volcánica. Esta piedra originada en Japón contiene grandes cantidades de minerales balanceados para el crecimiento microbiano.



La propagación de los bacilos depende de las condiciones ambientales que se indican en la siguiente tabla.

Parámetro	Requerimiento
Temperatura que tolera (°C)	< 110
Temperatura de propagación (°C)	10 - 65
Temperatura de máxima actividad (°C)	25 - 60
pH	3 - 11
Oxígeno	Si



Actualmente se encuentra instalado un prototipo de esta tecnología (por la empresa SHECSA) en la Unidad Tecnológica Demostrativa de la Escuela Agrícola Fundo Quimavida.