

# Calidad del Agua 101

Nociones básicas sobre microsistemas de agua potable



Versión 1.1



# Calidad del Agua 101

Nociones básicas sobre  
microsistemas de agua potable

MANUAL

Versión 1.1

Derechos reservados © Su Majestad la Reina  
en derecho de Canadá (2011)

Elaborado por el  
Consejo Interministerial de Capacitación para la Calidad del Agua

Nº de catálogo A22-542/2011-PDF

Nº ISBN 978-1-100-53413-8

Nº AAFC 11490M

LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE MANUAL Y SU SITIO WEB DE APRENDIZAJE ELECTRÓNICO ASOCIADO TIENE FINES EDUCATIVOS.

La información presentada representa las mejores prácticas en el momento de la publicación. Dado que las prácticas y normas cambian con el tiempo, consulte a su proveedor o especialista en calidad del agua para asegurarse de que la información sea actual y exacta.

El Gobierno de Canadá declina toda responsabilidad en caso de interpretación o aplicación incorrecta, inadecuada o negligente de la información contenida en su material protegido por la ley sobre derechos de autor.

El Gobierno de Canadá no refrenda ningún producto, proceso ni servicio que se muestre o esté asociado con este documento o vídeo.

Derechos reservados © SU MAJESTAD LA REINA EN DERECHO DE CANADÁ (2011)

Se prohíbe reproducir este material sin la debida autorización.

Este producto de capacitación ha sido elaborado por el Consejo Interministerial de Capacitación para la Calidad del Agua.

**Ministerios y organismos participantes:**

Ministerio de Agricultura y Agroalimentación de Canadá

Agencia de Servicios Fronterizos de Canadá

Servicio de Guardacostas de Canadá

Agencia de Inspección Alimentaria de Canadá

Servicio Correccional de Canadá

Ministerio de Asuntos Exteriores y Comercio Internacional de Canadá

Ministerio de Salud de Canadá

Dirección General de la Salud de las Primeras Naciones y los Inuits

Ministerio de Asuntos Indígenas y del Norte de Canadá

Ministerio de Defensa Nacional y Fuerzas Canadienses

Agencia de Parques de Canadá

Ministerio de Obras Públicas y Servicios Gubernamentales de Canadá

Real Policía Montada de Canadá

Ministerio de Transportes de Canadá

1	Presentación general sobre la calidad del agua	1
1.1	Introducción	1
1.2	Reglamentos y debida diligencia	1
1.3	Fuentes naturales de agua	2
1.4	Contaminantes en el agua	2
1.5	Enfoque de barreras múltiples	3
1.6	Procesos de tratamiento	4
1.7	Objetivos para el agua potable segura	5
1.8	Sistemas de distribución	6
1.9	Notas sobre el capítulo 1	7
2	Fuentes de agua dulce	8
2.1	Introducción	8
2.2	Distribución del agua en la Tierra	8
2.3	El ciclo del agua en el medio ambiente	9
2.4	Agua superficial	11
2.5	Agua subterránea	12
2.6	Agua municipal	14
2.7	Agua embotellada	15
2.8	Entender la fuente de agua	16
2.9	Notas sobre el capítulo 2	17
3	Qué hay en el agua	18
3.1	Introducción	18
3.2	Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá	19
3.3	Contaminación microbiológica	20
3.3.1	Bacterias	22
3.3.2	Virus	27
3.3.3	Protozoos	29
3.4	Contaminación química	31
3.4.1	Contaminantes químicos inorgánicos	32
3.4.2	Contaminantes químicos orgánicos	33
3.5	Otras características del agua	35
3.5.1	pH	35
3.5.2	Alcalinidad	35
3.5.3	TSD	36
3.5.4	Conductividad	36
3.5.5	Dureza	36
3.5.6	Color	37
3.6	Otros contaminantes a tener en cuenta	37
3.7	Notas sobre el capítulo 3	40

4	Conceptos de química y cálculos básicos .....	41
4.1	Introducción.....	41
4.2	Composición química .....	41
4.3	pH y alcalinidad.....	42
4.4	Concentración.....	43
4.5	Dilución.....	44
4.6	Volumen .....	46
4.7	Caudal .....	47
4.8	Cálculos de conversión .....	49
4.9	Notas sobre el capítulo 4.....	50
5	Tecnologías de tratamiento .....	51
5.1	Introducción.....	51
5.2	Clarificación.....	52
5.3	Filtración.....	53
5.4	Filtros de arena y filtros multimedios .....	55
5.5	Filtros de carbón activado granular .....	57
5.6	Filtros de cartucho .....	58
5.7	Filtros de membrana .....	58
5.8	Oxidación.....	60
5.9	Intercambio iónico.....	61
5.10	Desinfección.....	63
5.11	Tipos de cloro .....	65
5.12	Luz ultravioleta .....	66
5.13	Diseño de un sistema de tratamiento .....	67
5.14	Funcionamiento y mantenimiento de un sistema de tratamiento.....	70
5.15	Notas sobre el capítulo 5.....	72
6	Sistemas de distribución .....	73
6.1	Introducción.....	73
6.2	Cloro residual.....	73
6.3	Tanques de almacenamiento de agua potable.....	76
6.4	Válvulas y tuberías.....	78
6.5	Interconexión y prevención de contraflujo .....	79
6.6	Agua suministrada por camión cisterna .....	81
6.7	Agua embotellada y dispensadores de agua.....	82
6.8	Notas sobre el capítulo 6.....	84
7.0	Conocer su sistema desde la fuente hasta el grifo .....	85
7.1	Introducción.....	85
7.2	Evaluación de las vulnerabilidades y gestión de los riesgos.....	85

7.2.1	Conocer su fuente. ....	85
7.2.2	Identificar los riesgos. ....	86
7.2.3	Determinar la susceptibilidad a los riesgos. ....	86
7.3	Estudio sanitario. ....	87
7.4	Análisis químico de referencia. ....	88
7.5	Protección de la fuente. ....	89
7.6	Utilizar agua suministrada por la red municipal. ....	91
7.7	Notas sobre el capítulo 7. ....	92
<b>8</b>	<b>Monitoreo y análisis. ....</b>	<b>93</b>
8.1	Introducción. ....	93
8.2	Cuándo tomar muestras. ....	93
8.3	Qué analizar en las muestras. ....	94
8.4	Dónde tomar las muestras. ....	95
8.5	Cómo tomar las muestras. ....	96
8.6	Dónde enviar las muestras. ....	97
8.7	Notas sobre el capítulo 8. ....	99
<b>9</b>	<b>Análisis e informes. ....</b>	<b>100</b>
9.1	Introducción. ....	100
9.2	Cómo leer un informe de laboratorio. ....	100
9.3	Resultados del análisis. ....	101
9.4	Responsabilidad y mantenimiento de registros. ....	102
9.5	Notas sobre el capítulo 9. ....	105
<b>10</b>	<b>Dónde obtener ayuda. ....</b>	<b>106</b>
10.1	Introducción. ....	106
10.2	Equipo. ....	107
10.3	Sistema de distribución. ....	108
10.4	Monitoreo. ....	108
10.5	Procedimientos normalizados de trabajo. ....	109
10.6	Educación continua. ....	110
10.7	Notas sobre el capítulo 10. ....	111
	Apéndice A: Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá. ....	112
	Apéndice B: Unidades, conversiones y ejemplos de cálculos. ....	117
	Apéndice C: Cómo limpiar un dispensador de agua embotellada. ....	124
	Apéndice D: Preguntas frecuentes. ....	126

## PRÓLOGO

El gobierno federal es responsable o comparte la responsabilidad de suministrar agua potable en las instalaciones federales situadas en Canadá y en el extranjero, los buques del Servicio de Guardacostas de Canadá y las comunidades de las Primeras Naciones. Sus obligaciones legales para con sus empleados como suministrador de agua potable se describen en el Código del Trabajo de Canadá y su reglamento conexo, que estipula que los empleadores federales tienen la obligación de suministrar a sus empleados agua potable de conformidad con las normas establecidas. El Reglamento de Salud y Seguridad en el Trabajo prescribe como dichas normas una versión específica de las Guidelines for Canadian Drinking Water Quality (Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá).

El cumplimiento de estas responsabilidades implica numerosos retos, teniendo en cuenta sobre todo que un gran número de sistemas propiedad del gobierno federal son de pequeña escala y se encuentran en lugares remotos. Esta situación se ve agravada por la falta de capacitación en calidad del agua orientada específicamente a estos tipos de sistemas. Asegurar que las competencias adecuadas sean respaldadas mediante una capacitación adecuada no sólo es un elemento fundamental de debida diligencia sino que también es una de las barreras del enfoque de barreras múltiples para suministrar agua potable segura.

Los ministerios federales reconocieron que existía la necesidad de elaborar un programa federal para el agua potable que incorpore un enfoque integral desde el punto de toma de agua hasta el grifo para asegurar la calidad del agua potable en todos los sectores de competencia federal. Como resultado de ello, en 2002 se estableció el Interdepartmental Working Group on Drinking Water (Grupo de Trabajo Interministerial sobre el Agua Potable o IWGDW, por su sigla en inglés). Su principal objetivo era elaborar el documento Guidance to providing safe drinking water in areas of federal jurisdiction o Guidance Document (Consejos para suministrar agua potable segura en los sectores de competencia federal, Consejos en lo sucesivo). El documento describe una serie de enfoques coherentes para las actividades, incluidas la inspección y monitoreo de sistemas de agua potable, y la capacitación y certificación de operadores, haciendo especial hincapié en los sistemas de agua potable pequeños y muy pequeños. Ofrece una guía para ayudar a los ministerios a cumplir con las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá.

Aunque se dispone de formación para los sistemas a escala municipal, la capacitación de calidad uniforme existente es mucho más limitada en el caso de los microsistemas, esto es, sistemas de suministro de agua potable muy pequeños que prestan servicio a un máximo de 25 personas. Los ministerios han reconocido que existe una oportunidad de trabajar juntos para elaborar e impartir capacitación asociada con la aplicación de los Consejos y cumplir con las obligaciones reglamentarias y la debida diligencia de suministrar agua potable en lugares con microsistemas. Se reconoce que si bien cada ministerio individual puede tener ciertas necesidades únicas de capacitación, existe una serie de necesidades fundamentales de capacitación que son comunes a todos los ministerios.

Así pues, se creó el Interdepartmental Water Quality Training Board (Consejo Interministerial de Capacitación para la Calidad del Agua o IWQTB, por su sigla en inglés) como un subcomité y órgano complementario del IWGDW. Está integrado por

representantes de distintos ministerios y organismos federales con responsabilidades relacionadas con el suministro de agua potable segura a sus empleados y otras personas que utilicen sus instalaciones. Los miembros del Consejo trabajan juntos para elaborar un enfoque común que responda a las necesidades de capacitación relacionada con los microsistemas de los suministradores federales de agua potable.

Este curso “Calidad del Agua 101 - Nociones básicas sobre microsistemas de agua potable” (WQ101) y otros módulos de capacitación independientes son el fruto de ese trabajo. WQ101 es una introducción completa a la calidad del agua en general y con relación al suministro de agua potable para los microsistemas. Aunque este curso pueda ser una excelente introducción para una persona encargada de la explotación de un sistema municipal de tratamiento de aguas, no está dirigido a ese tipo de público. Este curso ofrece una introducción básica sobre la calidad del agua y se centra en los microsistemas. Examina seis áreas temáticas: el concepto de debida diligencia y el Código del Trabajo de Canadá, nociones básicas sobre la calidad del agua, el muestreo y el mantenimiento de registros, la gestión de datos y la presentación de informes, el funcionamiento y mantenimiento, y la protección de las fuentes de agua.

El curso “Calidad del Agua 101 - Nociones básicas sobre microsistemas de agua potable” se compone de dos partes: el curso de aprendizaje electrónico y este manual que lo acompaña. La principal herramienta de aprendizaje es el curso en formato electrónico, que ha sido diseñado en módulos de forma que pueda ser personalizado para responder a necesidades de capacitación particulares. El aprendizaje electrónico proporciona información sobre temas específicos y presenta los puntos clave fundamentales que deben aprenderse a nivel introductorio. Este manual examina más ampliamente los temas abordados en el curso de aprendizaje electrónico a fin de permitir al lector encontrar fácilmente más información sobre cada tema.

# 1 Presentación general sobre la calidad del agua

## 1.1 Introducción

Existen sistemas de tratamiento del agua de distintos tamaños en función del número de personas a las que prestan servicio. Distintas organizaciones en cada jurisdicción ofrecen capacitación certificada a nivel provincial para el funcionamiento y mantenimiento de sistemas más grandes. Si bien este curso de capacitación podría ofrecer una información básica para esos sistemas, ha sido concebido con el objetivo de proporcionar conocimientos y consejos relativos al funcionamiento y mantenimiento de microsistemas. Los microsistemas se definen como los sistemas de suministro de agua potable que prestan servicio a un máximo de 25 personas. Se pueden caracterizar también como un sistema en una vivienda en la que se utilizan aparatos disponibles en el mercado para tratar el agua. Este manual tiene por objetivo lograr tres niveles de capacitación:

- 1 Conocimientos básicos y sensibilización – una comprensión de los conceptos fundamentales relacionados con el suministro de agua potable segura para los microsistemas.
- 2 Comprensión demostrada – una buena comprensión de los distintos temas examinados en el curso con relación al suministro de agua potable segura en los microsistemas.
- 3 Competencias probadas – una comprensión demostrada, tal como se indica más arriba, y la provisión de respuestas correctas a una serie de preguntas que ponen a prueba y demuestran la comprensión del estudiante.

La capacitación es modular y adecuada para una amplia gama de estudiantes, desde altos directivos hasta autoridades responsables, pasando por operadores de sistemas de agua y encargados de monitorear la calidad del agua (controladores de la calidad del agua). La capacitación integra los conocimientos básicos sobre la calidad del agua junto con recomendaciones del documento federal Consejos para suministrar agua potable en los sectores de competencia federal y contenido de las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá (GCDWQ, por su sigla en inglés), publicadas por el Ministerio de Salud de Canadá.

## 1.2 Reglamentos y debida diligencia

En palabras simples, el agua es necesaria para que exista vida. La Parte II del Código del Trabajo de Canadá estipula que el empleador (en este caso el Gobierno de Canadá) es responsable de suministrar a sus empleados agua potable para beber, preparar alimentos y para la higiene. Dicho de otro modo, los ministerios federales tienen la obligación legal de asegurarse de que sus empleados tengan acceso a agua potable segura todos los días.

El empleador debe tomar las medidas oportunas para garantizar la protección de la salud y seguridad de los empleados que utilizan agua en instalaciones federales. En algunos casos, como las instalaciones utilizadas por el público, garantizar la salubridad del suministro de agua potable es más una cuestión de debida diligencia que una obligación legal. Por debida diligencia se entiende que en una determinada situación se toman todas las precauciones para asegurarse de que ninguna persona sufra daños.

### Sabía que:

Se estima que los problemas de salud relacionados con la contaminación del agua cuestan a los canadienses 300 millones de dólares por año.



El Grupo de Trabajo Interministerial sobre el Agua Potable ha elaborado un documento guía con consejos para ayudar a los ministerios a cumplir sus obligaciones establecidas en virtud del Código del Trabajo de Canadá y ejercer al mismo tiempo debida diligencia a la hora de suministrar agua potable. Dicho documento, que se puede consultar en el sitio web del Ministerio de Salud de Canadá, se titula *Consejos para suministrar agua potable segura en los sectores de competencia federal*.

El Ministerio de Salud de Canadá también publica y actualiza regularmente las *Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá*, que establecen concentraciones máximas permisibles (CMP), objetivos de calidad estética y recomendaciones operacionales para distintos contaminantes y otros parámetros que se encuentran en el agua potable. Esas Recomendaciones se basan en conocimientos científicos disponibles en la actualidad y son elaboradas y aprobadas en colaboración con socios provinciales y territoriales.

### 1.3 Fuentes naturales de agua

El agua, H<sub>2</sub>O, es un compuesto sencillo en su forma pura. El agua existe de forma natural en tres estados básicos: sólido (hielo), líquido y vapor (niebla, nubes, etc.). El agua se mueve continuamente entre esos estados, de la atmósfera a la tierra y bajo la tierra para, con el tiempo, volver de nuevo a la atmósfera. Este ciclo se conoce por el nombre de ciclo hidrológico.

Al desplazarse por este ciclo, el agua se encuentra con una multitud de posibles contaminantes. Dado que el agua es uno de los solventes más universales, casi siempre contiene otras sustancias disueltas o en suspensión. Estas sustancias pueden ser tanto de origen natural como humano. Algunas sustancias son peligrosas para la salud humana (por ej.: arsénico, nitrato), mientras que otras pueden crear problemas para el tratamiento del agua (por ej.: hierro, calcio). La materia orgánica (por ej.: material vegetal en descomposición y pequeñas partículas del suelo en suspensión) pueden crear problemas con el tratamiento e interferir en los procesos de desinfección. El agua de la superficie de la tierra (agua superficial como la de lagos, ríos y estanques) y el agua que procede del subsuelo (agua subterránea como la de manantiales, pozos y acuíferos) pueden contener partículas disueltas y en suspensión.

El agua contiene naturalmente una amplia gama de organismos vivos, muchos de los cuales no son apreciables a simple vista puesto que son microscópicos. El agua superficial contiene casi siempre contaminantes microbiológicos, algunos de los cuales pueden causar enfermedades o incluso la muerte (patogénicos). Lo mismo ocurre con el agua subterránea de pozos poco profundos (por lo general de no más 30 metros de profundidad), que puede verse afectada por el agua superficial. El agua de pozos más profundos también puede contener contaminantes microbiológicos como bacterias y virus. Las bacterias de origen natural no suelen ser dañinas, pero los virus sí pueden ser nocivos y los acuíferos y pozos pueden contaminarse. La mejor manera de abordar esta cuestión es dar por supuesto que el agua no tratada no es apta para el consumo hasta que los análisis realizados demuestren lo contrario.

### 1.4 Contaminantes en el agua

Existe toda una gama de sustancias que pueden afectar de forma negativa la calidad del agua. Suelen agruparse en función de sus características en: microorganismos, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, y compuestos radiológicos.

#### Sabía que:

La dureza del agua puede formar depósitos de sarro en las tuberías, equipo de tratamiento del agua, calentadores de agua y calderas. Una decimosexta parte de una pulgada de sarro puede reducir en un 1.5% la eficiencia de un calentador de agua.

La dureza puede aumentar también el consumo de jabón en un 50 a 90%, puesto que dificulta la formación de espuma.

Los microorganismos son un grupo de organismos vivos que incluyen los protozoos, las bacterias y los virus. Pueden vivir en el agua, la tierra y en la atmósfera, y se encuentran en masas de agua superficial, pozos de agua, bajo la corteza terrestre e incluso en rocas. Aunque existen numerosos microorganismos que no son nocivos para los humanos, otros pueden provocarles enfermedades o incluso la muerte. La identificación del tipo y número de microorganismos presentes en el agua debe ser realizada por un laboratorio acreditado.

Las sustancias químicas inorgánicas suelen ser de origen natural. Las sustancias químicas pertenecientes a esta categoría son el resultado de procesos naturales no vivos. Se considera que la mayor parte de la tierra es inorgánica. Los compuestos inorgánicos son creados por los elementos que se encuentran en la tierra. Algunos de estos compuestos son tóxicos para la salud humana, mientras que otros pueden ser considerados una molestia. Algunos ejemplos de sustancias químicas (elementos) inorgánicas que se encuentran en el agua son el arsénico, el calcio, el hierro y el sulfato. Aunque la mayoría de los compuestos inorgánicos sean de origen natural, algunos pueden ser de origen humano. Por ejemplo, el nitrato puede existir tanto en forma orgánica como inorgánica. Dos formas inorgánicas corrientes de esa sustancia, a saber, el nitrato potásico y el nitrato de amonio, se utilizan frecuentemente como fertilizantes.

La definición de un compuesto orgánico no es exacta, pero por lo general se refiere a compuestos que contienen carbono como parte de su estructura. Las sustancias químicas orgánicas pueden darse de forma natural en el medioambiente a partir de ciertas plantas y azúcares, a saber muchas de ellas se producen como resultado de procesos de producción de origen humano, como los utilizados para los productos petrolíferos, plaguicidas agrícolas y la fabricación de plásticos y caucho. Por regla general, las sustancias químicas orgánicas son producidas por procesos de origen humano. Algunos ejemplos de sustancias químicas orgánicas son la atrazina (un herbicida), el benceno (un solvente derivado del petróleo bruto) y el policloruro de vinilo (PVC – un plástico).

Los radionúclidos existen en el medio ambiente (incluida el agua) como elementos radioactivos naturales, y son también producidos como subproductos de las tecnologías nucleares. Entre los compuestos radiológicos naturales más comunes figuran el radio, el radón y el uranio, aunque existen otros muchos. Los radionúclidos que suelen encontrarse en el agua incluyen los asociados con el radio y el plomo.

### 1.5 Enfoque de barreras múltiples

Si no se realiza un monitoreo y análisis constantes para controlar la calidad del agua, es difícil asegurar que el agua sea potable y apta para el consumo en todo momento. Un sistema que incluya múltiples barreras para los contaminantes será más seguro que un sistema con una sola barrera. Por ejemplo, un sistema con un filtro y un proceso de desinfección tendría dos barreras para controlar la mayoría de los contaminantes microbiológicos, mientras que un sistema que cuente solamente con un filtro sólo tendría una barrera.

**Sabía que:**

El canadiense medio utiliza cada día aproximadamente 343 litros de agua para fines domésticos. La mayoría de esa agua se utiliza en el cuarto de baño.

**Fig 1.1** El enfoque de barreras múltiples

Las barreras incluyen no sólo los dispositivos o procesos físicos, sino también medidas que afectan directa o indirectamente o permiten monitorear los contaminantes en el agua, como por ejemplo, la adopción de medidas para proteger la fuente del agua o un programa regular de muestreo de la calidad del agua, análisis, evaluación y presentación de informes.

Tener conocimiento pleno del sistema de suministro del agua, desde la fuente hasta el grifo, es uno de los elementos fundamentales de un enfoque de múltiples barreras. Este conocimiento se obtiene mediante una amplia gama de herramientas que se describen en el documento Consejos. Una “evaluación de las vulnerabilidades” examina la fuente del agua, identifica los posibles riesgos procedentes del medio ambiente y estudia los efectos que dichos riesgos tendrán en el agua. Esta evaluación ayuda a identificar las medidas que deben adoptarse para reducir al mínimo los riesgos de deterioro en la calidad de la fuente del agua. Otra herramienta disponible es el “estudio sanitario”, esto es, un estudio exhaustivo del sistema de suministro de agua y los procedimientos utilizados para el funcionamiento y monitoreo del sistema. Este estudio identifica los posibles problemas existentes en los componentes físicos del sistema de suministro de agua, así como las actividades de funcionamiento, mantenimiento y monitoreo. Una tercera herramienta consiste en realizar un análisis completo del agua bruta de la fuente, conocido como “análisis de referencia”. Este análisis permite conocer los contaminantes presentes en el agua y determinar el tratamiento necesario, además de proporcionar información para establecer los requisitos del monitoreo.

Otras barreras incluyen la protección de las fuentes de agua (tanto las fuentes de agua superficial como subterránea, incluidos el desarrollo y la clausura de pozos), dispositivos y procesos de tratamiento, muestreo y monitoreo, procedimientos regulares de funcionamiento y mantenimiento, presentación coherente de informes y capacitación continua.

### 1.6 Procesos de tratamiento

Existen numerosos procesos convencionales e innovadores para el tratamiento del agua. Los sistemas de tratamiento del agua siguen siendo mejorados y complementados con nuevas tecnologías y procesos. Entre los ejemplos de procesos de tratamiento del agua figuran:

**Coagulación:** proceso por el que se agrega una sustancia química para atraer las partículas flotantes en suspensión a fin de formar aglutinados de material en suspensión de mayor tamaño y densidad que sean lo suficientemente pesados como para depositarse en el fondo con mayor rapidez de lo que lo harían las partículas individuales más pequeñas.

**Floculación:** proceso de mezcla lento que consiste en agregar un coagulante al agua y mezclarlo para unir las partículas y formar un flóculo, de tal modo que tenga mayor peso y se deposite por gravedad en el fondo del tanque de floculación.

**Filtración:** proceso que permite eliminar las partículas en suspensión haciendo pasar el agua por distintos tipos de medios de filtración como arena, gravilla, carbón granular y una amplia gama de filtros de tela, fibra y cerámica. La mayoría de los filtros funcionan mediante un proceso de tamizado físico, si bien algunos utilizan también mecanismos químicos. Por ejemplo, los filtros de carbón activado granular retienen la materia orgánica disuelta en el medio del filtro de carbón gracias a un proceso llamado adsorción, pero sólo hasta que el medio agote su capacidad de adsorción. Algunos filtros también utilizan procesos biológicos (por ej.: filtración lenta de arena y filtros biológicos de carbón activado).

**Nanofiltración y filtración por osmosis inversa:** son procesos de filtración por membrana capaces de eliminar partículas muy pequeñas, incluidos minerales, que están disueltas en el agua.

Sistemas de **intercambio iónico:** eliminan determinados componentes químicos del agua utilizando un medio de resina diseñado específicamente para intercambiar un componente químico con otro diferente. Uno de los procesos de intercambio iónico utilizados con más frecuencia es un suavizador de agua, que sustituye los iones de sodio en la resina por iones de calcio y magnesio. Este intercambio iónico reduce la dureza del agua y, al mismo tiempo, aumenta el contenido de sodio en el agua tratada.

Procesos de **desinfección:** funcionan ya sea destruyendo a nivel celular los contaminantes microbiológicos que causan enfermedades (normalmente mediante oxidación utilizando compuestos como el cloro, el ozono y, en ciertos casos como situaciones de emergencia, el yodo), o alterando o dañando la capacidad genética de las células de reproducirse (mediante radiación con una luz ultravioleta). La cloración es el método más frecuente de desinfección. Para asegurarse de que el agua tratada en las tuberías del sistema de suministro siga siendo apta para el consumo, es importante que contenga una pequeña cantidad de cloro residual después del proceso de desinfección.

Existen otros procesos de tratamiento del agua. No obstante, los procesos enumerados más arriba suelen ser los utilizados con mayor frecuencia en los sistemas municipales convencionales de tratamiento del agua. Todos estos procesos se pueden utilizar en los sistemas o dispositivos de tratamiento de menor escala disponibles para los microsistemas.

## 1.7 Objetivos para el agua potable segura

Las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá (GCDWQ, por su sigla en inglés) publicadas por el Ministerio de Salud de Canadá en nombre del Comité Federal-Provincial-Territorial sobre el Agua Potable, establecen para muchos de esos contaminantes límites que responden a criterios de salud, denominados concentraciones máximas permisibles (CMP). Estas CMP se basan en estudios científicos publicados

de actualidad que determinan cuáles son los efectos de un contaminante particular en la salud humana y cuál es el nivel de exposición aceptable. Es importante conocer los niveles de contaminantes en el agua de la fuente para determinar el tipo de tratamiento que debe aplicarse al agua para eliminar los contaminantes y hacerla potable. Es importante también conocer las CMP para esos contaminantes de tal modo que se puedan comprobar sus niveles reducidos en el agua tratada. Tanto el agua superficial como subterránea puede contener algunos o todos los grupos de contaminantes. Es poco probable que el agua subterránea de pozos de más de 30 m de profundidad contenga contaminantes orgánicos o bacteriológicos. No obstante, debe realizarse un análisis químico de referencia para comprobar que dichos contaminantes no están presentes en el agua. Las GCDWQ establecen también objetivos de calidad estética (OCE) y recomendaciones operacionales (RO). Si bien estas recomendaciones no se basan en criterios de salud, son factores importantes para el uso doméstico del agua y el desempeño del sistema de tratamiento.

### 1.8 Sistemas de distribución

Una vez que el agua ha sido tratada, un sistema de distribución la transporta hasta el punto de uso. El sistema de distribución incluye a menudo algún tipo de depósito para almacenar el agua como un tanque de presión o una cisterna. Puede que exista también una bomba para mantener la presión del sistema de distribución, además de haber tuberías y válvulas. Dependiendo del diseño del sistema, puede que éste tenga integrados dispositivos para liberar aire cuando sea necesario u otros dispositivos para evitar el contraflujo y sifonaje en el sistema. Conviene observar que es posible que un microsistema no tenga un sistema de distribución o que éste sea mínimo.

A fin de asegurar que el agua del sistema de distribución siga siendo potable, debe haber suficiente cloro residual en el sistema de tuberías para evitar que los contaminantes microbiológicos vuelvan a crecer. Se trata de un punto especialmente importante al final de las tuberías de distribución donde puede que el agua no se utilice con demasiada frecuencia; el cloro residual ayuda a proteger la calidad del agua en esas partes “terminales” del sistema de distribución.

En el caso de los microsistemas en los que el agua potable tratada es abastecida al sistema de distribución por transportistas de agua (camiones cisterna) en lugar de utilizar agua tratada local, deben tomarse precauciones especiales para asegurar que el agua abastecida no sea contaminada durante el transporte o la entrega al depósito de almacenamiento in situ.

Se puede utilizar también agua embotellada como fuente de agua potable, lo cual exige un cuidado y atención especiales para asegurar que el agua siga siendo potable hasta que sea utilizada.



## 2 Fuentes de agua dulce

### 2.1 Introducción

El agua es un elemento móvil, esto es, se desplaza a través de la atmósfera, por encima y a través de la tierra, y dentro de las corrientes oceánicas. Este movimiento del agua entre el aire, la tierra y el mar se denomina el ciclo hidrológico. Conocer este ciclo ayudará a determinar los requisitos de seguridad y tratamiento necesarios para el agua bruta procedente de cualquiera de esas fuentes.

#### Sabía que:

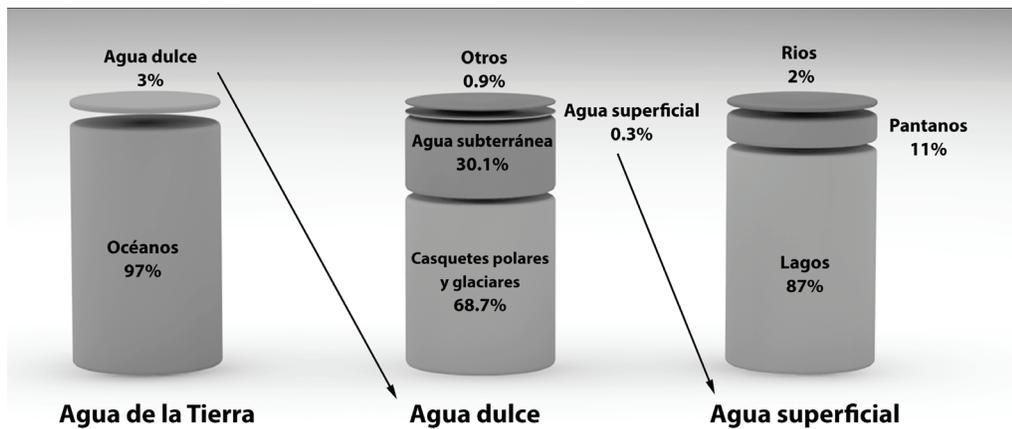
Canadá es un país afortunado. Aunque sólo alberga 0,5% de la población mundial, su territorio contiene cerca del 7% de las reservas renovables de agua del mundo.

**Fig. 2.1** El ciclo hidrológico



### 2.2 Distribución del agua en la Tierra

De toda el agua disponible en la Tierra, solamente el 3% es agua dulce, mientras que el restante 97% es agua salada. Del suministro total de agua dulce de la Tierra, aproximadamente el 69% está congelada en forma de casquetes polares y glaciares, el 30% es subterránea y solamente cerca del 0,3% es agua superficial. De ese 0,3% de agua superficial, 2% se encuentra en ríos, 11% en pantanos y 87% en lagos. La cuenca de los Grandes Lagos de América del Norte es el mayor sistema de lagos de agua dulce del mundo.

**Fig. 2.2** Distribución del agua en la Tierra

En Canadá, cerca del 60% del agua dulce drena hacia el norte, mientras que el 85% de la población vive en el sur, en un radio de varios cientos de kilómetros de la frontera entre Canadá y Estados Unidos. Canadá tiene la suerte de contar con suministros bastante fiables y agua de buena calidad. Con todo, no se puede dar por sentada la disponibilidad general del agua. Algunas regiones están sufriendo problemas de disponibilidad de agua y deben imponer a menudo restricciones al uso del agua. El agua dulce debe ser gestionada con cuidado y de forma sostenible a fin de evitar que se agoten las reservas de agua superficial o subterránea y que se vea afectada la calidad del agua de las fuentes.

### 2.3 El ciclo del agua en el medio ambiente

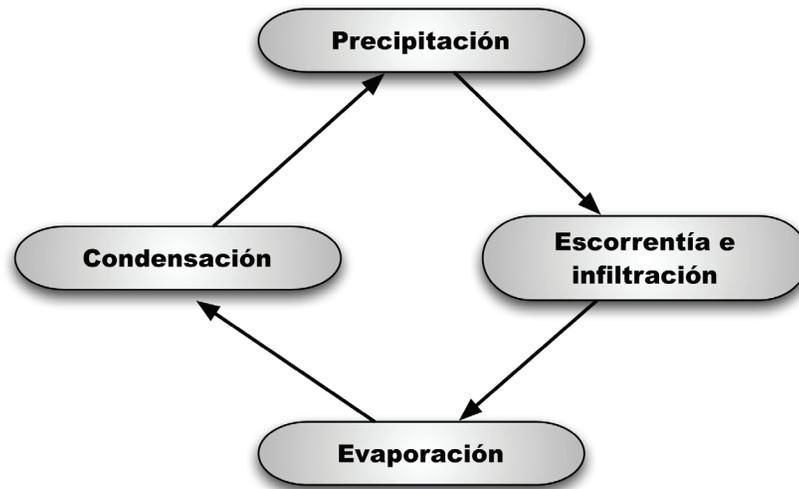
Vemos aparecer agua, aparentemente de la nada, cuando cae del cielo en forma de precipitación (lluvia o nieve). Cuando la lluvia cae en la Tierra, pueden ocurrir varias cosas. Cuando entra en contacto con la tierra, el agua puede viajar como escorrentía a través de superficies impermeables (como roca, suelos duros y pavimentos) y acaba en arroyos, lagos y océanos. Parte del agua penetra en el suelo (un proceso llamado infiltración) para reponer las aguas subterráneas o es absorbida por las plantas a través de sus raíces. Con el tiempo, el agua que no se filtra en el suelo acaba volviendo a la atmósfera mediante los procesos de evaporación y transpiración vegetal (la evaporación del agua de las superficies expuestas de las plantas). La combinación de estos dos procesos (evaporación y transpiración) se conoce por el nombre de evapotranspiración.

#### Sabía que:

En mayo de 2000, varios residentes de Walkerton, en la provincia de Ontario, empezaron a sentirse enfermos. Durante días, la Comisión de Servicios Públicos de Walkerton insistió en que el agua de la ciudad era segura y apta para el consumo a pesar de que los resultados de laboratorio mostraban que estaba contaminada.

El 21 de mayo de 2000, el Director Médico del Servicio de Salud de la región emitió un aviso de seguridad para que se hirviera el agua en la región. Por lo menos 7 personas murieron como resultado directo del consumo de agua contaminada con *E. coli* y muchos otros residentes de la ciudad se enfermaron.

Una versión simplificada del ciclo hidrológico podría ser la siguiente:



Términos del ciclo hidrológico:

**Precipitación:** es el vapor de agua condensada que cae a la superficie de la Tierra. La mayor parte de la precipitación se produce en forma de lluvia, aunque también puede incluir la nieve, granizo, goteo de la niebla, gotitas del hielo y aguanieve.

**Deshielo:** se refiere a la escorrentía que se produce al derretirse la nieve.

**Escorrentía:** incluye las distintas formas en que el agua se mueve por la superficie de la tierra. Comprende la escorrentía superficial y, cuando ésta empieza a concentrarse, el flujo fluvial.

**Infiltración:** es el flujo de agua de la superficie de la tierra que penetra en el suelo. Una vez infiltrada, el agua se convierte en humedad del suelo o agua subterránea.

**Evaporación:** es la transformación del agua del estado líquido a gaseoso al pasar del suelo o las masas de agua de la tierra a la atmósfera. La principal fuente de energía para la evaporación es el sol.

**Condensación:** es la transformación del vapor de agua a gotas de agua líquidas en el aire, produciendo de ese modo nubes y niebla.

A menudo, el agua de lluvia (precipitación) dista mucho de ser pura. Las gotas de lluvia se forman en torno a partículas de polvo, por lo que el agua de lluvia contendrá la partícula de polvo y cualquier contaminante adherido a ella. Si las nubes y lluvia se forman encima de fuentes de contaminantes industriales o agrícolas, es posible que esos contaminantes se encuentren en el agua de lluvia.

## 2.4 Agua superficial

Habida cuenta de que las fuentes de agua para los microsistemas pueden ser arroyos o lagos, es importante entender el modo en que el agua llega a esas fuentes de agua superficial y los tipos de contaminantes que se encuentran en ellas. Tal como se ha indicado antes, la escorrentía es el agua que circula por la tierra. La escorrentía que no se evapora ni acaba almacenada como cursos de agua subterránea fluye a través de un sistema de tierra conocido como cuenca hidrológica. Las cuencas hidrológicas se forman cuando la tierra presenta una pendiente que desciende hacia un arroyo, río, lago o humedal específico. Se trata de cuencas hídricas en las que el agua fluye de un punto de mayor elevación a otro de menor elevación. Las masas de agua en estas zonas más bajas son posibles reservas de agua para abastecer los microsistemas.

Los sucesos de precipitación depositan el agua en una cuenca hidrológica y esta agua circula hasta acabar en una masa de agua superficial. La secuencia y cantidad de ese flujo de agua varía en función del tamaño y duración del suceso de precipitación y de los efectos estacionales. Cuando se producen lluvias intensas, el volumen de escorrentía es alto y puede recorrer grandes distancias. Una precipitación de mayor duración y menor intensidad puede producir un volumen inferior de escorrentía, pero puede dar lugar a una mayor infiltración del agua en la tierra. Durante la primavera, las temperaturas más cálidas convierten la acumulación de nieve en agua que suele circular a través de la tierra helada. Este evento, que se conoce como escorrentía primaveral fruto del deshielo, da lugar a caudales máximos de agua y cambia las características del agua superficial. En muchas regiones de Canadá, la escorrentía primaveral es el principal suceso hidrológico anual y afecta el suministro y la calidad del agua.

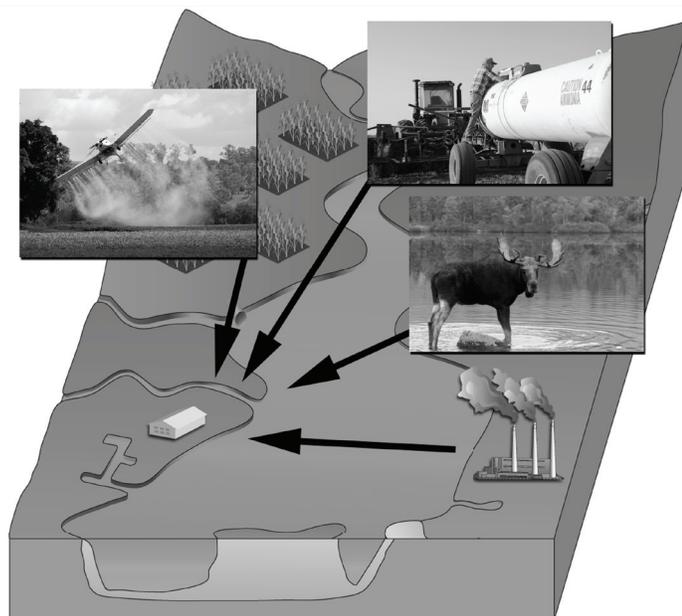
Todas estas variaciones en el caudal influyen en las características de las masas de agua superficial que pueden utilizarse como fuentes de agua. La naturaleza y el emplazamiento del caudal afecta la temperatura, turbidez y las características químicas, físicas y biológicas generales de la fuente de agua. Este hecho, a su vez, determina los requisitos para el tratamiento del agua.

A menudo, los arroyos, ríos y lagos se consideran fuentes de agua de gran pureza pero, en realidad, no es así. Cuando el agua de escorrentía circula por una variedad de superficies hasta llegar a una fuente de agua, tropieza con innumerables posibilidades de contaminación. Algunas amenazas de contaminación son de origen natural (desechos de la fauna silvestre, microbios que provocan enfermedades, sustancias químicas naturales en sedimentos y la geología de la Tierra), mientras que otras son de origen humano (contaminantes químicos, desechos humanos y actividades industriales y recreativas).

Una importante fuente de contaminación posible es la fauna, tanto viva como muerta. Los animales depositan excrementos en la tierra y en el agua. Además, los cadáveres en descomposición de los animales pueden deteriorar la calidad del agua o contribuir al crecimiento de microorganismos vivos que provocan enfermedades. Este potencial de contaminación existe no sólo en el caso de los animales silvestres, sino también de los domésticos, sobre todo el ganado de uso agrícola y los animales de compañía en ciudades y pueblos.

### Sabía que:

El período de tiempo que el agua puede permanecer como agua subterránea en un acuífero puede ser de tan sólo unos días hasta decenas de miles de años.

**Fig 2.3** Contaminación de las aguas superficiales

Otra fuente natural de contaminación del agua superficial son las fuentes y el material vegetal. Tanto las plantas vivas como el material vegetal en descomposición pueden aportar contaminantes al agua. Esto puede ocurrir no sólo con las plantas que crecen en la superficie terrestre sino también con las que crecen en el agua. Durante los meses de verano el agua superficial se calienta, lo que puede fomentar el crecimiento de algas, la liberación de toxinas nocivas de floraciones de algas verdeazuladas y el aumento de otras bacterias y microorganismos presentes de forma natural.

En algunos casos, puede haber una descarga de agua subterránea (por ej., procedente de manantiales) en el curso de agua superficial. Normalmente el agua subterránea está más fuertemente mineralizada que las aguas superficiales y puede agregar concentraciones no recomendables de sustancias naturales como el hierro, manganeso, sulfato y muchos otros minerales.

Así pues, teniendo en cuenta todos los posibles contaminantes a los que se expone el agua superficial desde el momento en que cae como precipitación hasta el momento en que se utiliza como fuente de agua para un microsistema, es importante entender bien las características de la fuente de agua superficial para poder garantizar un suministro constante de agua potable segura. Se producirán variaciones estacionales tanto en la cantidad de agua disponible como en su calidad. Los fenómenos meteorológicos extremos como las lluvias intensas o períodos prolongados de sequía también afectarán la cantidad y calidad de las fuentes de agua. Entender esas variaciones y cómo influyen en el sistema de tratamiento del agua es uno de los factores fundamentales para suministrar agua potable segura de forma permanente.

#### Sabía que:

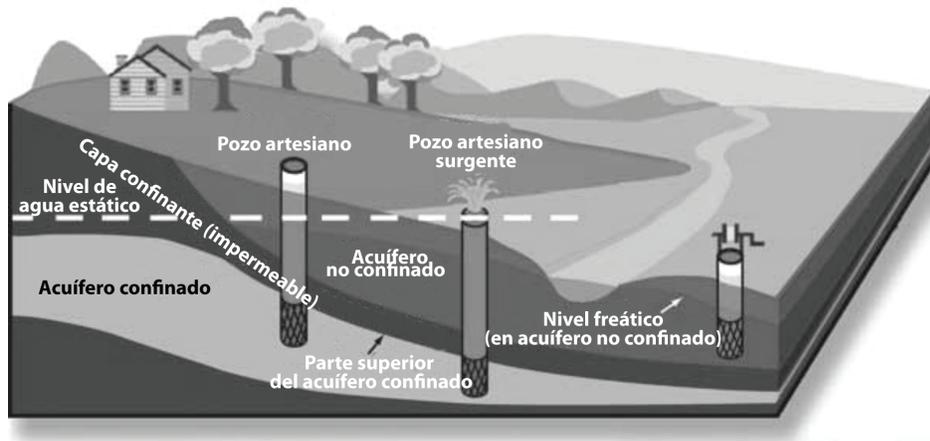
En los países en desarrollo, el 80% de las enfermedades están relacionadas con el agua.

## 2.5 Agua subterránea

El agua subterránea, al igual que el agua superficial, forma parte también del ciclo hidrológico. Cuando el agua se infiltra en la tierra, parte de ella queda atrapada y es almacenada en los acuíferos. Al filtrarse a través de las formaciones geológicas de la Tierra y quedar almacenada en el acuífero, el agua disuelve los componentes químicos del suelo y las rocas. Ese proceso cambia la calidad del agua y le agrega concentraciones

de compuestos disueltos (como carbonato de calcio) y elementos (como hierro, manganeso, arsénico y radio). Evidentemente, las concentraciones de la materia disuelta dependen del momento y exposición geológica, así como de los procesos biológicos, químicos y físicos que se producen en el acuífero y del movimiento del agua en el acuífero.

**Fig 2.4** Acuíferos



El agua puede permanecer durante mucho tiempo en un acuífero antes de ser bombeada a la superficie o de que se produzca una descarga natural del agua. El tiempo de permanencia (la cantidad de tiempo que el agua permanece en un acuífero por término medio) puede ser horas, meses, años o incluso miles de años. Por lo tanto, el agua dispone de mucho tiempo para disolver los elementos que la rodean y adquirir características diferentes. En una zona sin desarrollar (esto es, una zona no expuesta a los impactos de la actividad humana), estos compuestos y elementos pueden ser los únicos retos en cuanto al tratamiento a los que debe responder un microsistema que utiliza agua subterránea. Algunas de esas características, aunque se produzcan de forma natural, pueden ser nocivas para la salud humana (por ej.: la presencia de arsénico, nitrato) o pueden interferir con el tratamiento o causar subproductos dañinos (por ej.: amoníaco, materia orgánica).

Los acuíferos que cuentan con una protección suficiente frente a las influencias humanas y animales suelen estar protegidos frente a contaminantes microbiológicos que causan enfermedades, y puede que sólo sea necesario aplicar un tratamiento para unas pocas características. La protección se produce gracias a las capas impermeables de confinamiento (capas de roca o arcilla) o es fruto simplemente de la profundidad y filtración natural de la tierra del acuífero, puesto que una cantidad considerable de la contaminación será eliminada a medida que el agua se filtra hacia abajo a través del suelo y las rocas. Por lo general, dado que los cursos de agua subterránea son mucho menos variables que los de agua superficial, las características de calidad del agua subterránea son también más constantes que las del agua superficial.

Los acuíferos poco profundos (por lo general con una profundidad inferior a los 30 m) representan un riesgo mucho mayor de contaminación, sobre todo por bacterias nocivas. (Para un estudio más detallado de las bacterias nocivas, repasar la Sección 3.3

#### Sabía que:

En Canadá, el agua preenvasada (agua embotellada) se considera un alimento y está reglamentada en virtud de la División 12 del Reglamento sobre los alimentos y drogas.

– Contaminantes Microbiológicos.) A menudo se trata de acuíferos no confinados, denominados también a veces acuíferos libres o con lámina libre. El medio que se encuentra por encima del suelo influye fuertemente en los acuíferos poco profundos, cuyas fuentes de contaminación varían desde fuentes medioambientales naturales hasta las actividades humanas relacionadas con la utilización del suelo. Los cambios en el deshielo o precipitación pueden provocar importantes fluctuaciones en la cantidad de agua que permanece en esos acuíferos. La recarga (el agua que entra en el acuífero) se produce con tal rapidez que apenas unos pocos contaminantes, o ninguno, son eliminados mediante los procesos de infiltración y percolación. El agua que entra en el acuífero apenas se diferencia del agua de escorrentía que entra en las fuentes de agua superficial. Por ello, los acuíferos poco profundos son clasificados a menudo como agua subterránea bajo la influencia directa de agua superficial. Estas fuentes se consideran como masas de agua superficial desde el punto de vista del tratamiento y la salud, debido a su susceptibilidad a contaminantes microbiológicos nocivos y de otro tipo. Esos otros contaminantes incluyen materia orgánica que puede formar subproductos de desinfección dañinos si no se eliminan antes de la desinfección. (Nota: algunos acuíferos poco profundos pueden estar confinados por capas impermeables de roca o arcilla, en cuyo caso se puede considerar que presentan un bajo riesgo de contaminación.)

**Fig 2.5** Un acuífero poco profundo

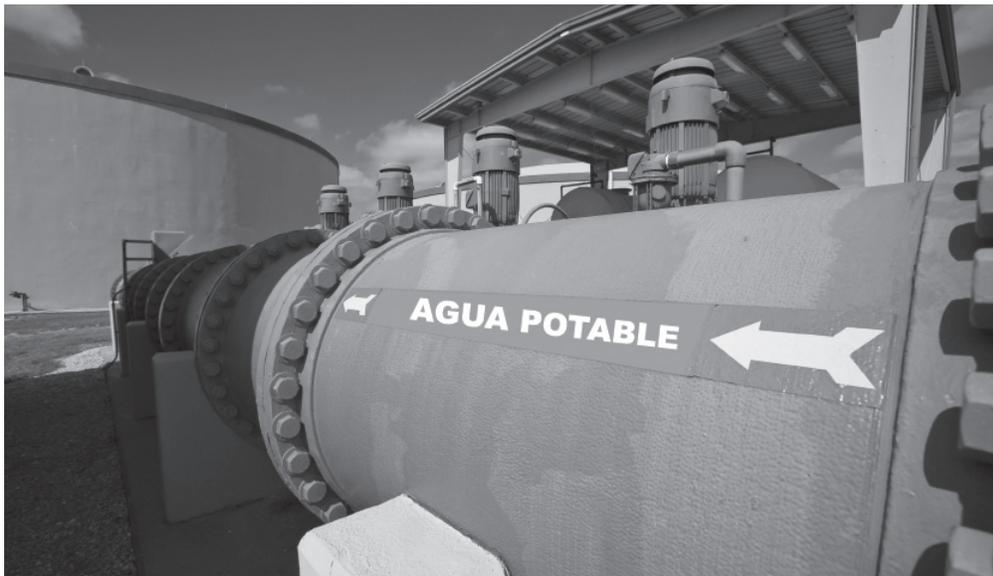


## 2.6 Agua municipal

En algunos casos, la fuente del suministro de agua para un microsistema puede ser una red municipal de abastecimiento de agua. Aunque este tipo de fuente puede suministrar agua potable en la planta de tratamiento, es necesario asegurar que el agua sigue siendo segura después de que haya circulado por el sistema de distribución hasta llegar a la instalación federal. En ciertos casos, todavía podría ser necesario adoptar medidas adicionales de tratamiento del agua. Si es necesario tratar el agua, un especialista en calidad del agua determinará la configuración del sistema. Asimismo, establecerá el tipo y frecuencia de los análisis de calidad del agua necesarios.

Incluso si la fuente de agua es la red municipal de abastecimiento, es importante saber cuál es el origen del agua. Saber si el agua procede de una fuente de agua superficial o subterránea (o una mezcla de ambas) ayuda a entender si existe la posibilidad de que el agua de origen esté contaminada y en qué casos. Igual de importante es saber también quién es el suministrador municipal, qué proceso de tratamiento existe, la frecuencia con que se realizan análisis del agua tratada y el lugar donde se pueden consultar los resultados de dichos análisis. Asegúrese de que el suministrador se pondrá en contacto con la instalación federal en caso de que surja un problema con la calidad del agua que suministra.

**Fig 2.6** Una red municipal de abastecimiento de agua



Los operadores de microsistemas que tratan y distribuyen agua en una instalación federal tienen la obligación de garantizar la seguridad del agua potable, aunque ésta proceda de una red municipal de agua tratada. El hecho de que el municipio haya tratado el agua de su red de abastecimiento no elimina la necesidad para el microsistema de realizar análisis para controlar la calidad del agua. A fin de garantizar la seguridad del suministro de agua es importante cumplir con el programa de monitoreo de calidad del agua establecido.

## 2.7 Agua embotellada

En Canadá, el agua preenvasada (agua embotellada) está reglamentada, como un alimento, con arreglo a la División 12 del Reglamento sobre los alimentos y drogas. Este reglamento estipula el modo en que se puede etiquetar el agua y lo que puede contener.

El agua embotellada como agua mineral o de manantial es agua potable (apta para el consumo humano) procedente de una fuente subterránea. No puede provenir de una red pública de abastecimiento de agua. El agua mineral es agua de manantial que contiene una mayor cantidad de sales minerales disueltas, normalmente superior a 500 miligramos por litro de total de sólidos disueltos. Está prohibido modificar la composición del agua mineral y el agua de manantial utilizando productos químicos,

**Sabía que:**

Los reglamentos provinciales y territoriales exigen que todos los suministros municipales de agua potable sean sometidos a análisis frecuentes de numerosos parámetros. Los suministros privados de agua (pozos, estanques artificiales y lagunas) no están sujetos a dichos reglamentos.

En el caso de los suministros privados de agua, son los propietarios/usuarios quienes tienen la responsabilidad de realizar los análisis del agua que corresponda.

con la única excepción de que se puede agregar dióxido de carbono y ozono durante el proceso de embotellado para proteger la frescura, y flúor por razones de higiene dental.

El agua embotellada que no esté específicamente identificada como agua mineral o agua de manantial es agua procedente de cualquier fuente (red municipal, pozo, etc.) que puede ser tratada para que sea apta para el consumo humano o cuya composición se puede modificar. Entre los posibles tratamientos se incluyen la carbonatación, la ozonización, la radiación ultravioleta y la filtración para eliminar bacterias o contaminantes nocivos. Este tipo de agua embotellada puede ser destilada o sometida a distintos procesos de desionización para eliminar sus minerales, o simplemente se trata de agua de la red municipal embotellada para la venta. La etiqueta en estos envases de agua debe indicar cómo ha sido tratada, por ej., “carbonatada”, “desmineralizada”, “destilada”, etc.

Toda el agua comercializada en botella debe ser apta y segura para el consumo humano. El agua mineral o el agua de manantial no debe contener bacterias coliformes ni niveles nocivos de sustancias en la fuente. Otros tipos de agua embotellada pueden ser sometidos a una amplia gama de tratamientos y deben cumplir con las exigencias reglamentarias relativas a las bacterias aerobias y coliformes. El hielo preenvasado debe cumplir también con la reglamentación. Al tratarse de alimentos, el agua (embotellada) y el hielo preenvasados también tienen que respetar todas las disposiciones de la Ley de alimentos y drogas canadiense, que por lo general se basan en las GCDWQ. Se puede encontrar más información sobre el tema del agua embotellada en el sitio del Ministerio de Salud de Canadá, en la página de preguntas frecuentes sobre el agua embotellada titulada “Frequently Asked Questions about Bottled Water” (Ministerio de Salud de Canadá, 2009).

## 2.8 Entender la fuente de agua

Conocer la fuente de su agua y las características que influyen en ella (la cuenca hidrográfica en el caso del agua superficial, el acuífero en el caso del agua subterránea) es el primer paso para entender el suministro de agua y el sistema de tratamiento que se necesita para suministrar agua potable segura. A fin de tomar las decisiones más acertadas con relación al tratamiento, es importante conocer las vulnerabilidades del agua de la fuente a los efectos medioambientales, así como las características biológicas, químicas y físicas del agua.

La calidad de una fuente de agua muy raramente permanece invariable con el paso del tiempo. Por ello, es importante monitorear los cambios, no sólo en la propia agua, sino también en cualquier área que pueda afectar la fuente de agua. Los sistemas de tratamiento se conciben para tratar determinadas características del agua, normalmente dentro de un estrecho rango de concentraciones. Si la calidad del agua de la fuente varía considerablemente, el proceso de tratamiento puede dejar de suministrar agua potable segura (por ej., una gran inundación o episodio de contaminación puede afectar el tratamiento). El monitoreo y análisis regulares de la calidad del agua de la fuente y el agua tratada son componentes fundamentales en el funcionamiento de un microsistema y ayudan a garantizar que el agua de la fuente se encuentre dentro de un rango aceptable para las limitaciones de tratamiento del microsistema.



## 3 Qué hay en el agua

### 3.1 Introducción

#### Sabía que:

En 1854 se estableció en Londres el primer vínculo entre una enfermedad y el agua como su medio de transmisión.

Anteriormente los expertos médicos opinaban que el cólera era una enfermedad de transmisión aérea. El Dr. John Snow relacionó la propagación del cólera con el uso del agua de la bomba de la calle Broad Street.

El agua que está presente de forma natural en el medio ambiente contiene mucho más que simplemente agua. Además del hidrógeno y oxígeno que se combinan para formar moléculas de agua ( $H_2O$ ), existen también numerosos contaminantes. Algunos de esos contaminantes son visibles y pueden enturbiar o ensuciar el agua. Estos contaminantes no están disueltos en el agua sino que están en suspensión. Pero incluso aunque el agua parezca perfectamente limpia, puede contener una amplia gama de contaminantes de tamaño microscópico o que están disueltos en el agua.

Los contaminantes presentes en el agua se suelen agrupar en función de sus características en microorganismos, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, y compuestos radiológicos. Por lo general, el agua se describe según sus características químicas, biológicas, físicas y radiológicas. Es poco habitual encontrar varias fuentes de agua que sean exactamente iguales; todos los suministros de agua presentan características diferentes.

Los microorganismos ocurren en el agua en tres grupos principales: bacterias, virus y protozoos. Estos grupos se examinarán con más detalle en secciones posteriores. Pueden encontrarse en el agua procedentes de fuentes naturales o ser producto de actividades humanas o animales. Algunos de estos microorganismos son inocuos; no obstante, otros pueden causar enfermedades graves en los seres humanos.

Las sustancias químicas orgánicas son por lo general las que contienen carbono en su estructura atómica, como la materia orgánica disuelta de origen natural o las sustancias orgánicas sintéticas como los plaguicidas, la gasolina y los plásticos como el cloruro de vinilo. Muchos productos químicos orgánicos son de origen humano (antropogénicos). Los productos químicos inorgánicos no suelen contener carbono y normalmente son de origen natural. Entre ellos se incluyen compuestos como el nitrato y sulfato, y elementos como el hierro, manganeso, cobre y arsénico. Los contaminantes radiológicos suelen proceder del desgaste, la erosión y la explotación de materiales rocosos que contienen esos elementos, o pueden ser fruto de procesos nucleares (por ej., el tritio). Se sabe que la exposición a radionúclidos constituye un riesgo para la salud de los seres humanos.

Existen también muchos otros indicadores clave que permiten valorar la condición del agua. Entre ellos figuran: el pH, que indica el valor de acidez del agua; la alcalinidad, que mide la capacidad del agua para neutralizar los ácidos; y la dureza, que mide la cantidad de minerales disueltos específicos, sobre todo el calcio y el magnesio.

Además de medir las concentraciones individuales de contaminantes que se describen en este documento, la medición de grupos de contaminantes permite obtener parámetros que ayudan a determinar la calidad del agua. Así, se utilizan los valores del Total de Sólidos Disueltos (TSD) y Total de Sólidos en Suspensión (TSS) como parámetros importantes para entender la calidad del agua de la fuente y la cantidad y tipo de tratamiento necesario.

***Es importante recordar que los contaminantes nocivos en el agua que deben preocuparnos pocas veces son visibles.*** En la mayoría de los casos, los contaminantes más dañinos son los que no pueden verse. Por ello es sumamente importante entender los aspectos básicos del tratamiento del agua.

### 3.2 Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá

El agua contiene otras muchas sustancias además de moléculas de agua. Algunas de esas sustancias no afectan la salud de los seres humanos, mientras que otras pueden tener efectos tras una exposición prolongada (crónica) o incluso una sola exposición puntual (aguda). *Las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá* (GCDWQ), publicadas por el Ministerio de Salud de Canadá, establecen límites aceptables, denominados concentraciones máximas permisibles (CMP) para los contaminantes con efectos nocivos para la salud humana. El agua potable que contiene constantemente una sustancia en una concentración superior a la CMP puede contribuir de forma considerable a exponer a los consumidores a dicha sustancia y puede tener, en ciertos casos, efectos perjudiciales para la salud. Estas CMP se basan en estudios científicos publicados de actualidad y son objeto de revisiones regulares tras las que el Ministerio de Salud de Canadá confirma las CMP existentes o establece nuevas CMP. Tanto el Código del Trabajo de Canadá como los *Consejos para suministrar agua potable segura en los sectores de competencia federal* remiten a los documentos de GCDWQ con relación a las concentraciones aceptables de contaminantes. En este capítulo se examinan algunos de los parámetros que se abordan en las GCDWQ, aunque no todos ellos. Es importante conocer todos los contaminantes en el agua de la fuente y sus CMP específicas a fin de que se pueda verificar la reducción de sus niveles en el agua tratada. Además de las CMP para los contaminantes que tienen efectos nocivos para la salud, las GCDWQ también contienen recomendaciones operacionales y objetivos de calidad estética para el agua potable. Estos parámetros se establecen para identificar las concentraciones máximas de un contaminante que no debería afectar negativamente el funcionamiento de un sistema de tratamiento o la calidad estética del agua.

Las recomendaciones operacionales y sus documentos técnicos han sido diseñados para mantener la concentración del contaminante en niveles seguros y permitir al mismo tiempo al microsistema operar con eficiencia y eficacia.

Los objetivos de calidad estética han sido concebidos para ofrecer asesoramiento sobre cómo producir agua que sea agradable de consumir. Si un vaso de agua tuviera mal aspecto u olera a huevos podridos es poco probable que alguien quisiera beber el agua. En ese caso, una persona podría incluso recurrir a una fuente alternativa, con un sabor u olor mejor, pero que quizás esté contaminada química o biológicamente. Cuando se han invertido tiempo y esfuerzos para garantizar que el agua es apta para el consumo y SEGURA, es importante también asegurarse de que sea agradable de consumir para que la gente realmente QUIERA beberla.

Este capítulo estudia más exhaustivamente una serie de contaminantes del agua y se puede utilizar también más adelante como herramienta de referencia. Los contaminantes examinados son los que están presentes habitualmente en el agua superficial o el agua subterránea. El Apéndice A contiene un cuadro con los valores recomendados en las GCDWQ para esos parámetros. Dado que las recomendaciones se actualizan periódicamente, conviene consultar siempre el sitio web del Ministerio de Salud de Canadá para obtener la versión más reciente de los valores recomendados.

### 3.3 Contaminación microbiológica

El principal riesgo para la salud al beber agua son los microorganismos. Evidentemente, se plantean numerosas preguntas: ¿Qué son los microorganismos? ¿Existen diferentes tipos de microorganismos? ¿Son todos los microorganismos nocivos? La palabra “microorganismo” es un término muy general que se utiliza para describir una multitud de distintos organismos vivos diminutos. En lo que respecta al consumo de agua, los 3 principales grupos de microorganismos que nos preocupan son las bacterias, los virus y los protozoos.

**Fig 3.1** Los microorganismos representan el principal riesgo para la salud



#### Sabía que:

*E.Coli* es una bacteria natural residente en los intestinos de todos los animales, incluidos los seres humanos. Cuando se detecta *E.Coli* en el agua, por lo general es una indicación de contaminación fecal de fuentes humanas, agrícolas o la fauna silvestre.

Sería sumamente difícil y largo realizar análisis individuales para todos los microorganismos dañinos conocidos, por lo que los expertos en calidad del agua utilizan un enfoque de indicadores a fin de facilitar el proceso. Los microbiólogos (científicos que estudian las bacterias y otros microorganismos) han descubierto que los microorganismos presentes en el agua a menudo están relacionados con la contaminación fecal. Los coliformes son un grupo de bacterias que se encuentran de forma natural en las plantas, el suelo, el agua y los intestinos de los seres humanos y animales de sangre caliente. Asimismo, los microbiólogos y expertos en agua potable han descubierto que las bacterias coliformes son bastante fáciles de cultivar y analizar en un laboratorio. Dado que los coliformes están muy presentes en el medio ambiente, se pueden utilizar como una de las numerosas herramientas operacionales para determinar la eficacia de un sistema de tratamiento de agua potable.

Así pues, ¿por qué es este grupo de las bacterias coliformes tan importante? No todas las bacterias coliformes son nocivas. De hecho, la mayoría de ellas son inofensivas. No obstante, si una muestra de agua procedente de un microsistema tratado da positivo en los análisis para detectar bacterias coliformes, PUEDE contener algunas de esas bacterias nocivas indicadas anteriormente en este capítulo, ya que su presencia en el agua tratada indica un fallo en el ciclo de tratamiento. Dicho de otro modo, si el ciclo de tratamiento no mató o inactivó (impidiendo que las bacterias puedan reproducirse en su cuerpo y causar enfermedades) estas bacterias que sirven de indicador, será muy probable

entonces que tampoco mata o inactiva cualquier bacteria nociva que estuviera presente en el agua. La capacidad de detectar la contaminación fecal en el agua potable es una necesidad, puesto que los microorganismos patógenos procedentes de las heces humanas y animales en el agua potable representan el mayor peligro para la salud pública.

*Escherichia coli* (*E. coli*) forma parte del grupo de bacterias coliformes que se encuentran de forma natural en los intestinos de los seres humanos y animales de sangre caliente. Dado que habitualmente no está presente de forma natural en otros medios como en plantas o en suelos o el agua, la presencia de *E. coli* en una muestra de agua es un buen indicador de una contaminación fecal reciente.

Si una muestra de agua da positivo para los coliformes totales, puede o no contener bacterias nocivas y es necesario tomar otras medidas antes de que se pueda considerar el agua segura, entre otros, realizar otros análisis. La presencia de coliformes totales en muestras del sistema de distribución o el sistema de tuberías, indica un problema con la integridad o el funcionamiento de esos sistemas. Si un análisis da positivo para *E. coli*, es seguro que esa muestra de agua ha entrado en contacto con heces animales y, por lo tanto, no es apta para el consumo. Mientras que el análisis de coliformes totales en sí mismo puede indicar que una muestra podría ser perjudicial, un análisis de *E. coli* permite confirmar que una muestra ES definitivamente nociva. En el caso de un microsistema (un sistema de distribución con una sola fuente y de pequeño tamaño), un resultado positivo en el análisis de *E. coli* indicaría que deben tomarse medidas inmediatas (emitir un aviso de hervir el agua). Consulte a un especialista en calidad del agua, los procedimientos normalizados de trabajo o el sitio web del Ministerio de Salud de Canadá para obtener más información sobre qué hacer en esos casos. El sitio web del Ministerio de Salud de Canadá ofrece un árbol de decisiones para ayudarle a decidir el curso de acción a seguir cuando los análisis de indicadores microbiológicos dan resultados positivos.

Antes de que se pueda tratar el agua para eliminar los microorganismos, debe ser sometida previamente a distintos procesos para eliminar otros contaminantes, de modo que el tratamiento de desinfección utilizado para matar o inactivar los microorganismos tenga efecto. La turbidez es un parámetro que mide la materia suspendida en el agua. Cuanto menor sea la turbidez, menor será también la concentración de partículas en suspensión. La materia en suspensión puede incluir sustancias tales como arcillas y limos inorgánicos, partículas y compuestos orgánicos, plancton u organismos microscópicos (algunos de los cuales pueden ser microorganismos patógenos que causan enfermedades como bacterias, virus y protozoos). Toda el agua superficial y el agua subterránea presentará un cierto grado de turbidez.

La turbidez es un indicador fundamental porque identifica en qué medida ha logrado el proceso de tratamiento, eliminar todas las partículas en suspensión en el agua de la fuente antes de aplicar el proceso de desinfección. Las plantas de tratamiento de agua han sido diseñadas con vistas a suministrar agua con la menor turbidez posible. El hecho de que los valores de turbidez cambien o fluctúen es un indicador clave de que la calidad del agua de la fuente ha empeorado, que los procesos de tratamiento han dejado de ser seguros o no están optimizados, y/o que de las tuberías de distribución de tratamiento del agua se desprende suciedad o microorganismos.

**Fig 3.2** Un matraz con sólidos en suspensión que muestra turbidez



El agua turbia puede contener y ocultar microorganismos que causan enfermedades, reducir la eficacia del proceso de desinfección y de otros procesos de tratamiento, y aportar nutrientes para que los microorganismos vuelvan a crecer en las tuberías de distribución del agua.

### 3.3.1 Bacterias

Las bacterias son probablemente las más conocidas de los tres grupos de microorganismos presentados en este manual. La mayoría de las personas han oído hablar alguna vez de las bacterias e incluso quizás de los distintos tipos de bacterias existentes. Las bacterias son organismos unicelulares con una longitud que puede oscilar de las aproximadamente 0,5 micras hasta varias micras. Para hacerse una idea del tamaño minúsculo que eso significa, 1 micra (abreviación de micrómetro) equivale a una milésima de milímetro. En otras palabras, si una sola bacteria tuviera 1 ó 2 micras de longitud, se necesitarían entre 500 y 1000 colocadas una detrás de otra para alcanzar la longitud de un solo milímetro.

Los científicos a menudo agrupan las bacterias en función de su morfología, esto es, con arreglo a su forma. Las bacterias pueden tener tres formas diferentes: alargada (bacilo), esférica (coco) y helicoidal o en forma de espiral (espirilo). Este tipo de agrupación permite a los científicos observar con mayor facilidad las bacterias en el microscopio y determinar con rapidez el grupo del que se trata.

Las bacterias se pueden encontrar en cualquier lugar del planeta, y realmente significa **EN CUALQUIER LUGAR**. Las bacterias viven en los cuerpos de los animales y les ayudan a digerir los alimentos. Se encuentran también en las raíces de las plantas y les ayudan a obtener nutrientes. Las bacterias están encima de todas las superficies y

#### Sabía que:

Hervir el agua durante varios minutos matará las bacterias pero no reducirá la cantidad de minerales como el nitrato o metales como el plomo.

dentro de cualquier objeto u organismo imaginable. No existe un solo lugar en la Tierra que no contenga bacterias en una forma u otra. Evidentemente, esto incluye también las fuentes de agua utilizadas que los microsistemas utilizan habitualmente como los arroyos, estanques, ríos, lagos e incluso los acuíferos. Las bacterias necesitan determinados nutrientes (alimentos) para reproducirse. Por ello suelen darse con más frecuencia en el agua superficial (por oposición al agua subterránea) en donde pueden obtener fácilmente los nutrientes que necesitan. Cuando se utilizan arroyos y lagos como fuentes de suministro de agua para los microsistemas, la necesidad de tratar el agua contra las bacterias es inevitable.

La gran mayoría de esas bacterias son completamente inofensivas para los seres humanos, pero desgraciadamente esas bacterias inocuas comparten su hábitat con algunas bacterias muy dañinas. La exposición a esas bacterias nocivas al beber agua potable puede causar graves enfermedades e incluso, en algunos casos, la muerte. Una única exposición a las bacterias dañinas puede causar problemas de salud, relacionados principalmente con el estómago y los intestinos (gastrointestinal), en unos pocos días o incluso en unas horas. Por ello, es de extrema importancia garantizar que el agua producida por un microsistema sea analizada y considerada libre de todos los contaminantes bacteriológicos.

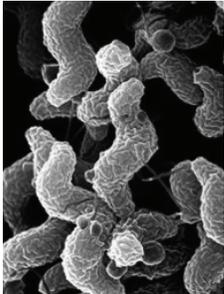
#### **Organismos indicadores (*E. coli* y coliformes totales)**

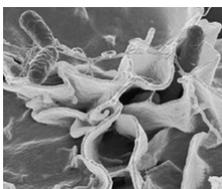
Aunque las técnicas microbiológicas modernas han hecho posible la detección de bacterias, virus y protozoos patógenos, en la actualidad no resulta práctico tratar de aislarlos sistemáticamente del agua potable. Es preferible utilizar indicadores cuyo monitoreo es menos difícil, menos costoso y requiere menos tiempo, lo cual debería fomentar un aumento en el número de muestras analizadas, ofreciendo de ese modo una mejor visión general de la calidad del agua y, por consiguiente, una mejor protección de la salud pública. De todos los contaminantes que se pueden encontrar habitualmente en las aguas superficiales y subterráneas, son los microorganismos patógenos procedentes de heces humanas y animales los que representan el mayor peligro para la salud pública. Por ello, la capacidad de detectar la contaminación fecal en el agua potable es un requisito indispensable para asegurar la seguridad del público.

#### **Coliformes totales**

Los coliformes son un grupo de bacterias estrechamente relacionadas por lo general de vida libre en el medio ambiente, aunque su presencia en el agua puede indicar una contaminación del sistema de agua. La presencia de coliformes en una muestra de agua tratada puede ser un indicio de crecimiento biológico en un sistema de distribución de agua o indicar otro punto de contaminación. La realización de análisis de coliformes totales forma parte de una buena práctica; la obtención de resultados positivos para la presencia de este organismo puede ser un indicio de la presencia de otras bacterias patógenas.

**Cuadro 3.1** Bacteria of Concern to Micro-system Operators

Nombre de la bacteria	Descripción
<p data-bbox="443 279 703 310"><i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)</p> 	<p data-bbox="743 279 1430 877"><i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) son microorganismos que forman una familia de bacterias comunes que se encuentran en los intestinos de los seres humanos y los animales, donde las bacterias facilitan la descomposición y fermentación de los alimentos. Existen cientos de cepas diferentes de <i>E. coli</i>, la mayoría de las cuales son inofensivas para la salud humana. Del grupo coliforme de organismos, <i>E. coli</i> son considerados un indicador más específico de contaminación fecal y se han desarrollado pruebas que permiten determinar rápida y fácilmente su presencia en el agua. Además de estar relacionadas específicamente con las materias fecales, las bacterias <i>E. coli</i> no suelen multiplicarse en el medio ambiente, son excretadas en las heces en grandes cantidades (aproximadamente 10<sup>9</sup> células por gramo), lo que permite su detección incluso en forma muy diluida, y tienen una expectativa de vida similar a la de otros enteropatógenos (esto es, relacionados con o que afectan a los intestinos) bacterianos. Estas características hacen que <i>E. coli</i> sea el mejor indicador disponible de contaminación fecal.</p> <p data-bbox="743 905 1430 1371"><i>E. coli</i> sale de las materias fecales que pueden ser arrastradas por el agua de la lluvia, el deshielo y otras formas de precipitación. Así pues, <i>E. coli</i> es un tipo de coliforme fecal cuya presencia en el agua indica contaminación con aguas residuales o desechos animales. Entre otros, dicha contaminación puede proceder de las siguientes fuentes: fauna silvestre de origen natural, escorrentía agrícola y residuos cloacales que contaminan el agua de la fuente, o la mezcla accidental de aguas residuales con el agua potable en el sistema de distribución del agua, debido a una conexión cruzada o una pérdida de integridad o fallo en el sistema de distribución (por ej., la rotura de una tubería). Por regla general, el agua subterránea suele tener niveles de <i>E. coli</i> inferiores a los del agua superficial debido a la acción filtrante del suelo y la roca.</p>
<p data-bbox="443 1392 662 1423"><i>Campylobacter</i> spp.</p> 	<p data-bbox="743 1392 1430 1923">Las <i>Campylobacters</i> son bacterias patógenas que se encuentran principalmente en el tracto gastrointestinal de los animales domésticos y silvestres, sobre todo de los pájaros. Las aguas residuales humanas también contienen una gran cantidad de estos organismos. <i>Campylobacter</i> se transmite por vía fecal-oral, principalmente a través de alimentos contaminados y, en ocasiones, por medio del agua. En numerosas ocasiones se han registrado brotes de gastroenteritis transmitida por el agua causada por <i>Campylobacter jejuni</i>, debidos en la mayoría de los casos a un tratamiento inadecuado, una contaminación posterior al tratamiento o el consumo de agua no tratada. La enteritis por <i>Campylobacter</i> suele provocar síntomas similares a la gripe y/o dolor abdominal, seguidos de una diarrea acuosa profusa. Las tecnologías de tratamiento que eliminan e inactivan con eficacia la bacteria <i>E. coli</i> son eficaces también contra la <i>Campylobacters</i>.</p>

Nombre de la bacteria	Descripción
<p data-bbox="180 233 386 264"><b><i>Helicobacter</i> spp.</b></p> 	<p data-bbox="477 233 1177 1150">El género <i>Helicobacter</i> incluye por lo menos 25 especies, siendo la <i>Helicobacter pylori</i> la especie de relevancia para la industria del agua. <i>H. pylori</i> es un patógeno reconocido para los seres humanos y se cree que existen varias vías de transmisión, incluida el consumo de agua. La enfermedad que provoca suele ser benigna en la mayoría de las personas infectadas, aunque en un pequeño porcentaje de casos puede causar trastornos más graves como úlceras pépticas o cáncer de estómago. En la mayoría de las infecciones por <i>H. pylori</i> no hay signos externos reveladores de la enfermedad. A menos que se reciba tratamiento, se considera que la infección dura toda la vida. Tal como ocurre con otras bacterias, una parte de las <i>H. pylori</i> presentes en el agua de la fuente serán eliminadas con la aplicación de métodos físicos como la coagulación, la sedimentación y la filtración. <i>H. pylori</i> es sensible también a los desinfectantes utilizados habitualmente para tratar el agua potable (por ej.: cloro, UV, ozono y monocloramina). Las investigaciones actuales sugieren que la concentración y el tiempo de contacto de la desinfección que ofrece una planta típica de tratamiento del agua, son suficientes para inactivar <i>H. pylori</i> en el agua tratada final. No obstante, si <i>H. pylori</i> se introduce en el sistema de distribución, posiblemente por un fallo del tratamiento o una infiltración en el sistema, el desinfectante residual en el sistema de distribución probablemente no será suficiente para la inactivación. En general, la principal vía de transmisión para <i>H. pylori</i> parece depender de la situación. En muchas circunstancias, la transmisión entre personas desempeña un papel clave. El agua y los alimentos parecen tener una importancia menos directa.</p>
<p data-bbox="180 1157 367 1188"><b><i>Salmonella</i> spp.</b></p> 	<p data-bbox="477 1157 1177 1764"><i>Salmonella</i> es un grupo complejo de bacterias (género taxonómico) que incluye más de 2.000 variedades y tipos diferentes que pueden provocar infecciones en seres humanos y animales. <i>Salmonella</i> enterica es la especie de mayor relevancia para la infección humana. Dado que <i>Salmonella</i> es un patógeno que existe normalmente en los animales pero puede infectar a los seres humanos (un patógeno zoonótico), la escorrentía de tierras agrícolas puede facilitar la transferencia de residuos fecales animales al agua de la fuente. Los seres humanos infectados y, como resultado de ello, las aguas residuales, se convierten también en fuente de <i>Salmonella</i>. La transmisión de <i>Salmonella</i> se produce por vía fecal-oral, principalmente a través de alimentos. El consumo de agua no suele ser una fuente de infección de <i>Salmonella</i>. Se ha demostrado que las características de supervivencia de <i>Salmonella</i> en el agua y su sensibilidad a la desinfección son similares a las de las bacterias coliformes, incluida <i>E. coli</i>. Se reconoce por lo general que una desinfección bien aplicada será suficiente para controlar <i>Salmonella</i> en el agua potable tratada.</p>

Nombre de la bacteria	Descripción
	<p>La mayoría de las personas infectadas con <i>Salmonella</i> sufren diarrea, fiebre y cólicos abdominales 12 a 72 horas después de haber sido infectadas. La enfermedad suele durar de cuatro a siete días y la mayoría de las personas se recuperan sin necesidad de tratamiento. Como en todas las enfermedades que provocan diarrea o vómitos, las personas afectadas deben beber abundantes líquidos para reponer los fluidos corporales perdidos. Esta precaución es especialmente importante en el caso de los niños de edad muy corta y los ancianos. En casos graves, los pacientes pueden necesitar recibir fluidos por vía intravenosa, que por lo general se hace en un hospital. (Fuente: Ministerio de Salud de Canadá <a href="http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/food-aliment/salmonella-eng.php">http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/food-aliment/salmonella-eng.php</a>)</p>
<p><i>Shigella</i> spp.</p> 	<p>Al igual que <i>Salmonella</i>, <i>Shigella</i> pertenece a la misma familia microbiológica que <i>E. coli</i>. <i>Shigella</i> es un patógeno propio de los seres humanos y, como tal, no debería estar presente en el medio ambiente. Los humanos infectados son el único reservorio importante de <i>Shigella</i>. La transmisión se produce por vía fecal-oral, mediante el consumo de agua o a alimentos contaminados con residuos fecales humanos. El contacto entre personas es también una vía importante de exposición a <i>Shigella</i>, sobre todo en el caso de los niños. <i>Shigella</i> provoca una enfermedad caracterizada por diarrea acuosa con sangre y moco. Mientras se recuperan, las personas infectadas pueden seguir deshaciéndose de <i>Shigella</i> en sus heces durante días e incluso semanas o meses. Se ha demostrado que las características de supervivencia de <i>Shigella</i> en el agua y su sensibilidad a la desinfección son similares a las de las bacterias coliformes, incluida <i>E. coli</i>. Se reconoce por lo general que una desinfección bien aplicada será suficiente para controlar <i>Shigella</i> en el agua potable tratada.</p>
<p><i>Legionella</i></p> 	<p><i>Legionellae</i> son patógenos humanos reconocidos; provocan enfermedades respiratorias que pueden ser graves para las personas con sistemas inmunitarios comprometidos (immunodeprimidos). Se trata de bacterias acuáticas de vida libre que proliferan en medios acuáticos. La presencia de <i>Legionella</i> es una preocupación principalmente para los sistemas de agua que no dependen de los sistemas municipales de tratamiento de aguas, como las torres de refrigeración y sistemas de tuberías residenciales y de hospitales. No obstante, los organismos son también capaces de colonizar las biopelículas del sistema de distribución del agua potable. Las especies de <i>Legionella</i> presentan una serie de propiedades de supervivencia que las dota de una gran resistencia a los efectos de la cloración y las temperaturas elevadas del agua.</p>

Nombre de la bacteria	Descripción
<p data-bbox="180 233 310 264"><b><i>Legionella</i></b></p> 	<p data-bbox="477 233 1177 678">Los sistemas de tuberías que no forman parte de las redes públicas de abastecimiento de agua (por ej., en edificios residenciales, hoteles, entornos institucionales) son los que se ven implicados con mayor frecuencia en infecciones por <i>Legionella pneumophila</i>. Dado que <i>Legionella</i> es un patógeno respiratorio, los sistemas que generan aerosoles, como las torres de refrigeración, bañeras de hidromasaje y cabezas de ducha, son las fuentes de infección implicadas más habituales. Aunque los sistemas de suministro de agua caliente son una fuente frecuente de contaminación, las fuentes de abastecimiento de agua fría en el rango de temperaturas propicias para la multiplicación de <i>Legionella</i> (25°C) también pueden verse implicadas. La bacteria <i>Legionella</i> no se transmite de persona a persona.</p> <p data-bbox="477 695 1177 1203">Existen dos enfermedades distintas provocadas por <i>Legionella</i>: la enfermedad del legionario y la fiebre de Pontiac. Estas enfermedades se conocen de forma colectiva por el nombre de legionelosis. Entre las recomendaciones generales para controlar <i>Legionella</i> en los sistemas domésticos de tuberías se incluye el mantenimiento de temperaturas de agua adecuadas. El Código Nacional de Plomería de Canadá exige que el agua en los tanques de almacenamiento de agua caliente se mantenga como mínimo a 60°C para controlar el crecimiento de <i>Legionella</i>. Cuando las altas temperaturas del agua caliente aumenten el riesgo de quemaduras en grupos vulnerables (por ej., niños y ancianos), deben tomarse medidas de seguridad adecuadas para limitar la temperatura a 49°C. Se pueden instalar válvulas mezcladoras de presión equilibrada o termostáticas para controlar la temperatura del agua que sale por el grifo y reducir el riesgo de sufrir de quemaduras.</p>

En conclusión, resulta interesante observar que la mayoría de las cepas de bacterias dañinas examinadas en este capítulo residen en el tubo digestivo de los animales. La contaminación fecal procedente del ganado, ciervos, alces, aves cantoras y acuáticas, seres humanos e incluso animales de compañía como perros y gatos, ha provocado brotes de enfermedades transmitidas por el agua en América del Norte, incluso en las últimas décadas. Proteger una cuenca hidrográfica para que las heces de animales y sus consiguientes bacterias no lleguen a una fuente de agua potable sería prácticamente imposible. Por consiguiente, la precaución más importante es controlar la fuente de agua para verificar la presencia de bacterias realizando análisis de detección de los organismos INDICADORES *E. coli* y coliformes totales (CT), y, posteriormente, tratar el agua teniendo en cuenta los resultados obtenidos. Este manual examinará en un capítulo posterior los aspectos específicos de la realización de análisis de agua (incluidos los análisis para detectar bacterias).

### 3.3.2 Virus

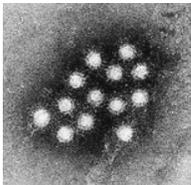
De todos los grupos descritos en este documento, los virus son los de menor tamaño. De hecho, los virus son los organismos vivos más pequeños conocidos. Se necesitarían unas 100 partículas víricas colocadas una detrás de otra para alcanzar la longitud de una sola célula bacteriana. Los científicos ni siquiera pueden examinar los virus con microscopios normales, sino que necesitan microscopios multimillonarios especiales

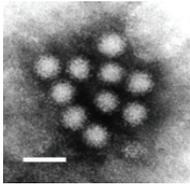
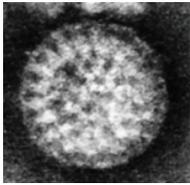
de barrido. Los científicos solamente han empezado a entender los virus en las últimas décadas. Un hecho de máxima importancia acerca de los virus es que no pueden reproducirse por sí solos como las bacterias. Los virus deben introducirse en un hospedador (como un ser humano) y, básicamente, utilizan la maquinaria celular de ese hospedador para reproducirse. A primera vista, esta característica puede no parecer demasiado importante, pero lo que significa es que la mayoría de los virus buscan un hospedador muy específico. En otras palabras, es muy poco probable que un virus que afecta a los ciervos o alces cause enfermedades en los seres humanos. En la mayoría de los casos, una persona sólo se verá afectada por los virus de otros seres humanos. Por supuesto, existen excepciones, pero la mayoría de los virus atacan un grupo específico de hospedador.

A fin de determinar si una fuente de agua puede estar contaminada con virus que podrían ser dañinos, plantéese la siguiente pregunta: “¿Hay fuentes humanas de contaminación presentes?” Por supuesto, existen fuentes de contaminación humana que no podrá ver. Los hidrogeólogos (especialistas en aguas subterráneas) han descubierto en fecha reciente que los virus no sólo pueden residir en acuíferos, sino que además pueden viajar a través de ellos con el movimiento de las aguas subterráneas. Incluso cuando utiliza agua subterránea, existe la posibilidad de que la contaminación humana procedente de otro lugar llegue a su fuente de agua. Hay que reiterar que se trata de un concepto relativamente nuevo. En su día se creía que los virus sólo constituían un problema para los sistemas de agua superficial y que las aguas subterráneas profundas eran una fuente de agua “segura”.

Numerosos brotes de enfermedades transmitidas por el agua se han atribuido a virus, aunque en ocasiones es difícil determinar la fuente exacta de la contaminación o incluso el virus específico implicado. A continuación se describen algunos de los virus conocidos como fuente de contaminación del agua.

**Cuadro 3.2** Virus relevantes para operadores de microsistemas

Nombre del virus	Descripción
<p><b>Hepatitis</b></p> 	<p>Hasta la fecha se han identificado seis tipos de virus de la hepatitis, si bien sólo la hepatitis A (VHA) y hepatitis E (VHE), parecen transmitirse por vía fecal-oral y, por lo tanto, están asociados con la transmisión a través del agua. Las infecciones por el VHA, conocidas habitualmente como hepatitis A, provocan numerosos síntomas, entre otros, fiebre, malestar (cansancio), anorexia, náuseas y molestias abdominales, seguido al cabo de varios días por ictericia. La infección por el VHA también puede dañar el hígado como resultado de la respuesta inmunitaria del hospedador a los hepatocitos infectados por el VHA. En algunos casos, los daños hepáticos pueden provocar la muerte. El período de incubación de la infección por el VHA oscila entre 10 y 50 días, con un promedio de unos 28-30 días, y es más breve cuando la dosis es superior.</p>

Nombre del virus	Descripción
<p data-bbox="180 239 293 264"><b>Norovirus</b></p> 	<p data-bbox="435 239 1172 619">Los norovirus se encuentran en las materias fecales y vómitos de las personas infectadas, y se pueden transmitir a través de agua contaminada. También se pueden propagar fácilmente mediante el contacto entre personas. Las infecciones por norovirus ocurren en lactantes, niños y adultos. El período de incubación es breve (24-48 h.), y los efectos en la salud, que suelen durar de 24 a 48 h., remiten espontáneamente. Algunos de los síntomas son las náuseas, vómitos, diarrea, dolores abdominales y fiebre. En las personas sanas, los síntomas suelen ser muy desagradables, aunque no se considera que pongan en peligro la vida. En grupos vulnerables como los ancianos, la enfermedad resultante se considera más grave.</p>
<p data-bbox="180 632 293 657"><b>Rotavirus</b></p> 	<p data-bbox="435 632 1172 905">Por lo general, los rotavirus causan gastroenteritis, incluidos vómitos y diarrea. Los vómitos pueden producirse hasta 48 h. antes de que aparezca la diarrea. La gravedad de la gastroenteritis puede oscilar desde leve, con una duración inferior a las 24 h, hasta grave. El período de incubación suele ser de 4 a 7 días, y por lo general la enfermedad dura entre 5 y 8 días. El rotavirus es la causa principal de los casos graves de diarrea en lactantes y niños, y representa cerca de la mitad de los casos que requieren hospitalización, habitualmente debido a la deshidratación.</p>

Para recapitular, los virus se pueden encontrar tanto en las fuentes de agua subterránea como de agua superficial. Suelen atacar un cierto grupo de animales específicos (como los seres humanos, por ejemplo), y son extremadamente pequeños. Debido a todos estos factores, la realización de análisis para la contaminación por virus es casi como encontrar una aguja en un pajar. En lugar de realizar análisis para detectar los virus, por lo general los sistemas toman las medidas necesarias para asegurar que, en caso de contaminación con virus, existan técnicas de tratamiento adecuadas para solucionar el problema. Para llevar esta medida aún más lejos, si se sospecha que un sistema de suministro de agua está contaminado con virus, primero se TRATA el agua y después se ANALIZA. Las técnicas de tratamiento específicas utilizadas en el caso de los virus se estudiarán en otros capítulos.

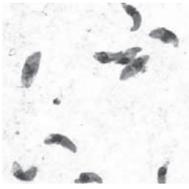
### 3.3.3 Protozoos

Los protozoos son un grupo de microorganismos que son muy difíciles de definir. En el agua potable, la mayoría de los científicos convienen en que los protozoos se pueden clasificar como organismos unicelulares heterótrofos que se dividen (reproducen) dentro de otro organismo hospedador. Lo que esto significa es que los protozoos tienen una sola célula (unicelulares), y no fabrican sus propios alimentos (heterótrofos, por oposición a fotótrofos, como una planta que puede elaborar sus propios alimentos a partir de la luz solar). Es la parte final de la definición la que supone que los protozoos se conviertan en un problema para los seres humanos. Cuando se reproducen en hospedadores como los seres humanos y otros animales, suelen causar problemas gastrointestinales o peores. La mayoría de los protozoos son de mayor tamaño que las bacterias y los virus. El tamaño de una célula típica de protozoo oscila aproximadamente entre 2 y 50 micras, por lo que resulta relativamente fácil observar los protozoos con un microscopio. No obstante, identificar exactamente lo que se observa es una labor más difícil que es mejor dejarsela a los expertos.

Habitualmente estos organismos sólo se encuentran en aguas superficiales y en las aguas subterráneas que están bajo la influencia directa de aguas superficiales. Aunque no suelen ser tan frecuentes como las bacterias, los protozoos siguen siendo un motivo de gran preocupación. Los protozoos entéricos que se asocian con mayor frecuencia a las enfermedades transmitidas por el agua en Canadá son *Cryptosporidium* y *Giardia*. Estos protozoos suelen encontrarse en fuentes de aguas, algunas cepas son altamente patógenas, pueden sobrevivir durante largos períodos de tiempo en el medio ambiente y tienen una alta resistencia a la desinfección química.

**Cuadro 3.3** Protozoos relevantes para los operadores de microsistemas

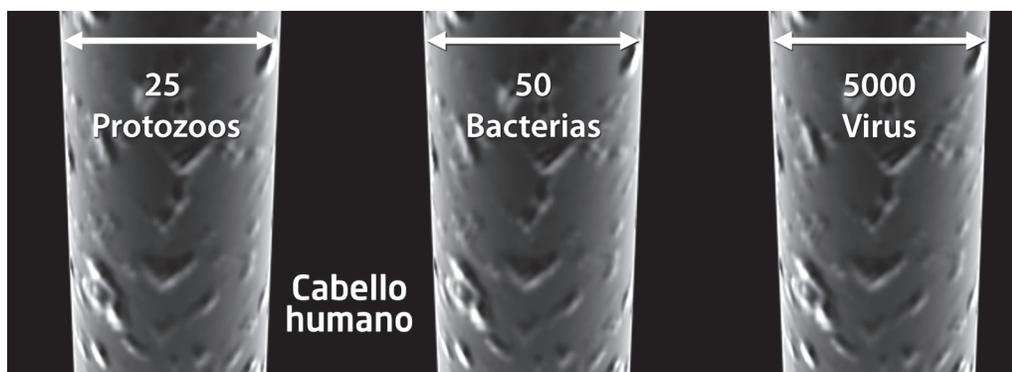
Nombre del protozoo	Descripción
<p><i>Giardia lamblia</i></p> 	<p><i>Giardia lamblia</i> es un protozoo parásito que se encuentra por todo el mundo. Vive y se reproduce en los intestinos de los mamíferos. Por lo general, <i>Giardia</i> no es invasivo (no invade las células sanas) y provoca infecciones asintomáticas (sin síntomas, no presenta manifestaciones subjetivas de existir). La giardiosis sintomática puede provocar náuseas, anorexia, molestias en el intestino delgado, malestar (una sensación general de molestia o indisposición) y, a veces, fiebre baja o escalofríos. La diarrea suele aparecer de forma repentina y ser explosiva, con heces acuosas y malolientes. La fase aguda de la infección suele remitir de forma espontánea, y los organismos generalmente desaparecen de las heces. Las heces humanas y de animales, sobre todo del ganado, son algunas de las principales fuentes de <i>Giardia</i>. Se ha demostrado que la giardiosis es endémica (presente o habitualmente prevalente) en los seres humanos y en más de 40 especies de animales. La transmisión entre personas es, con diferencia, la vía más común de contagio de <i>Giardia</i>. Las personas contraen la infección por vía fecal-oral, ya sea de forma directa (por ej., el contacto con heces de una persona contaminada, como los niños en guarderías) o indirecta (por ej., la ingestión de agua potable, aguas con fines recreativos y, en menor medida, alimentos que estén contaminados). <i>Giardia</i> es el protozoo intestinal señalado con más frecuencia en América del Norte y en el resto del mundo.</p>
<p><i>Cryptosporidium</i> spp. – más común para la infección humana: <i>C. parvum</i> y <i>C. hominus</i></p> 	<p>Los seres humanos y los animales, sobre todo el ganado, son importantes reservorios de <i>Cryptosporidium</i>. Las personas infectadas con <i>Cryptosporidium</i> tienen más probabilidades de desarrollar una enfermedad sintomática que las infectadas con <i>Giardia</i>. El síntoma más frecuente asociado con la criptosporidiosis es la diarrea, caracterizada por heces muy acuosas y no sanguinolentas. El volumen de diarrea puede ser extremo: los hospedadores inmunocompetentes presentan frecuentemente una diarrea de 3 L/día, y se han señalado casos de pacientes inmunodeficientes con una diarrea de hasta 17 L/día. Este síntoma puede estar acompañado por cólicos, náuseas, vómitos (sobre todo en los niños), fiebre baja (menos de 39°C), anorexia y deshidratación. Se han señalado casos de criptosporidiosis humana en más de 90 países y seis continentes. Los ovoquistes de <i>Cryptosporidium</i> (una estructura de pared gruesa que permite a los protozoos desplazarse a un nuevo hospedador) se propagan fácilmente en el medio ambiente y pueden transmitirse por vía fecal-oral. Entre los mecanismos comunes de transmisión se</p>

Nombre del protozoo	Descripción
	<p>incluyen el contagio entre personas, el contacto con animales, sobre todo el ganado, y el consumo de agua potable, aguas con fines recreativos o alimentos contaminados. Los ovoquistes de <i>Cryptosporidium</i> se encuentran con frecuencia en las aguas residuales y superficiales, y ocasionalmente, en el agua tratada. <i>Cryptosporidium</i> es uno de los protozoos entéricos señalados con más frecuencia en América del Norte y en el resto del mundo.</p>
<p><b><i>Toxoplasma gondii</i></b></p> 	<p><i>Toxoplasma gondii</i> es un parásito que puede infectar a los animales de sangre caliente, incluidos los seres humanos, aunque el principal hospedador es el gato. Suele transmitirse por la ingestión de quistes de tejido mediante el consumo de carne infectada cruda o poco cocinada, la ingestión de ovoquistes mediante el consumo de agua o alimentos contaminados, o por la manipulación de tierra contaminada o heces de gato infectadas. De forma similar a los otros protozoos indicados anteriormente, los síntomas se manifiestan en forma de enfermedad gastrointestinal que puede provocar complicaciones graves en los grupos más vulnerables. Aunque este organismo suele provocar síntomas leves parecidos a los de la gripe, puede ser mortal para las personas inmunodeficientes y las mujeres embarazadas. Se conoce poco acerca de la distribución de este organismo en las fuentes de agua; no obstante, se ha señalado que los ovoquistes pueden sobrevivir hasta 17 meses en el agua corriente. En 1995 hubo un brote en Colombia Británica que se cree fue causado por la contaminación de un depósito de agua por heces de gatos domésticos y salvajes. Los procesos de tratamiento del agua existentes en un sistema de tratamiento para la eliminación o inactivación de <i>Giardia</i> y <i>Cryptosporidium</i> deberían ser eficaces contra este organismo.</p>

### 3.4 Contaminación química

Las fuentes de agua pueden verse contaminadas por sustancias químicas inorgánicas u orgánicas. Aunque los productos químicos inorgánicos y orgánicos pueden ser de origen humano o encontrarse de forma natural en el medio ambiente, cada uno de esos grupos suele ser más frecuente en su medio particular. Así, es más frecuente encontrar las sustancias químicas inorgánicas de forma natural en el medio ambiente, mientras que las sustancias químicas orgánicas suelen ser principalmente de origen humano. En las siguientes secciones se describen más a fondo los productos químicos inorgánicos y orgánicos.

**Fig 3.3** El tamaño relativo de microorganismos



### 3.4.1 Contaminantes químicos inorgánicos

Para empezar, el término “inorgánico” se refiere a cualquier compuesto químico que no contiene carbono. No obstante, existen numerosas excepciones a esta regla de ausencia de carbono en la composición, incluso en lo referente al agua potable. Por ello, quizás resulte más útil dejar de lado la definición de contaminante inorgánico y centrarse más en los ejemplos.

Los productos inorgánicos son a menudo contaminantes de origen natural que pueden ser nocivos para la salud, afectar los procesos de tratamiento de un microsistema o causar problemas estéticos como manchas en los accesorios de baño y la ropa lavada. Algunos productos inorgánicos son beneficiosos para la salud en pequeñas dosis. Por lo general, los contaminantes inorgánicos se desprenden de formaciones geológicas como las rocas y el suelo que entran en contacto con el agua. Esa es la razón por la que los productos inorgánicos habitualmente se encuentran en mayores concentraciones en las aguas subterráneas que en las aguas superficiales. El agua subterránea puede estar en contacto con las rocas y el suelo durante años, cientos de años o incluso miles de años antes de ser bombeada a la superficie para convertirse en agua potable. El agua dispone así de mucho tiempo para actuar en las rocas circundantes y disolver los productos inorgánicos en una solución. Por otra parte, las sustancias inorgánicas también pueden llegar hasta el agua procedentes de la atmósfera o incluso de procesos biológicos de bacterias y plantas. Por supuesto, algunas sustancias inorgánicas pueden estar concentradas en un área particular o fuente de agua debido a la acción humana. Dependiendo del emplazamiento de un microsistema, algunas sustancias inorgánicas pueden ser mucho más frecuentes que otras. Por ejemplo, los sistemas que están situados cerca de zonas agrícolas como explotaciones agrícolas o cebaderos de animales pueden tener fuentes de agua con altos niveles de nitrato y nitrito. Los sistemas que se encuentran cerca de centros de actividad industrial como fundición o minería pueden presentar niveles altos de arsénico, plomo o cobre. A menudo, el agua subterránea en Canadá también contiene hierro y/o manganeso, calcio y magnesio. Es importante entender que el agua potable con bajas concentraciones (esto es, que no superen la concentración máxima permisible o CMP) de la mayoría de contaminantes no supone un riesgo para la salud humana.

Existen numerosas sustancias inorgánicas que se encuentran con frecuencia en el agua superficial y el agua subterránea. Los resultados del análisis de una muestra de agua indicarán los contaminantes inorgánicos presentes en el agua de la fuente. Se puede encontrar más información sobre cada sustancia en el sitio web del Ministerio de Salud de Canadá. A la hora de consultar la información sobre los contaminantes, es importante tener en cuenta varios factores. En primer lugar, utilice solamente fuentes que sean dignas de confianza. En segundo lugar, asegúrese de que la información se refiere al contaminante en el agua, no simplemente a la propia sustancia. Tal como se indica más arriba, la presencia de concentraciones inferiores a la CMP no constituirá un riesgo para la salud humana y, en algunos casos, incluso puede ser beneficiosa para la salud. Puede que existan recomendaciones operacionales para algunos de los compuestos inorgánicos; el objetivo de esas recomendaciones no sólo es mejorar el funcionamiento del sistema sino que, además, las concentraciones por debajo del valor recomendado también pueden mejorar algunas operaciones de tratamiento como la filtración por membrana o la desinfección.

### 3.4.2 Contaminantes químicos orgánicos

Los contaminantes químicos orgánicos son generalmente los que contienen carbono en su estructura atómica. Estos contaminantes pueden ser de origen natural, como el petróleo, gas natural y materia orgánica disuelta, por nombrar sólo algunos. Existen también, sin embargo, muchos productos químicos orgánicos antropogénicos (es decir, producidos por el hombre), como los plaguicidas, la gasolina (producto refinado del petróleo) y el cloruro de vinilo. Algunas sustancias químicas orgánicas pueden suponer un riesgo importante para la salud de las personas expuestas a ellas, sobre todo si la exposición es prolongada. Los contaminantes químicos orgánicos se han asociado con numerosas enfermedades, entre otras, cáncer, malestares gastrointestinales y trastornos neurológicos. Cuando se analizan muestras de agua potable para detectar la presencia de productos químicos orgánicos, se hacen pruebas para dos grandes grupos: Contaminantes Orgánicos Volátiles (COV) y Contaminantes Orgánicos Sintéticos (COS). Los COV son productos químicos que se volatizan fácilmente en el aire, esto es, se convierten en un gas cuyo olor, por lo general, se puede apreciar en un vaso de agua. Los COS incluyen productos químicos como los plaguicidas, agentes de limpieza en seco y combustibles. Se trata de sustancias químicas fabricadas por el hombre que se han creado para facilitar la vida (por lo menos hasta que llegan a una fuente de agua). Muchos de estos productos químicos no se mezclan completamente con el agua sino que permanecen en bolsas de contaminación altamente concentradas, denominadas “plumas”, que pueden ocurrir tanto en el agua superficial como en el agua subterránea. Si el punto de toma de agua de un microsistema aspirara una pluma en la instalación de tratamiento, desgraciadamente no hay mucho que se pueda hacer de forma económica para garantizar que el consumo de esa agua contaminada sea seguro. Aunque existen opciones de tratamiento, suelen ser difíciles de instalar y operar en microsistemas.

Es importante vigilar el riesgo de contaminación orgánica y tratar de solucionar el problema antes de que entre en un sistema de agua potable en forma tan concentrada. Los contaminantes orgánicos se pueden encontrar en el agua superficial y el agua subterránea. Si llegan a contaminar una fuente de agua subterránea, su remediación (esto es, eliminar el contaminante) es muy difícil y podría llevar años. Una de las fuentes frecuentes de contaminación orgánica que afecta al agua subterránea son los tanques subterráneos de almacenamiento de combustibles que se agrietan o corroen, y cuyo contenido empieza a filtrarse al suelo circundante. Con el tiempo, el agua de lluvia se desplaza a través del suelo, arrastrando con ella esa contaminación hasta los acuíferos.

A continuación se incluye una lista de algunos contaminantes orgánicos. Evidentemente, algunos de ellos se encontrarán en el agua debido a una manipulación negligente y a vertidos accidentales. No obstante, es frecuente encontrar cantidades residuales de plaguicidas en el agua superficial y, en menor medida, en el agua subterránea. Asimismo, cada vez se encuentran con mayor frecuencia cantidades residuales de productos farmacéuticos en fuentes de agua superficial.

**Table 3.4** Contaminantes químicos orgánicos relevantes

Contaminante orgánico	Descripción
<b>Organoclorados</b>	Los compuestos organoclorados son un grupo de productos químicos empleados con frecuencia en muchos de los disolventes que utilizamos cotidianamente. Por ejemplo, las soluciones de limpieza en seco son una fuente frecuente de dos compuestos organoclorados que han tenido un gran impacto en las fuentes de agua subterránea de toda América del Norte. Estos productos químicos pueden crear plumas (bolsas de la sustancia química que no se mezclan con el agua) de contaminación que son difíciles de eliminar o incluso reducir notablemente.
<b>Combustibles</b>	Los combustibles son una fuente frecuente de contaminación del agua potable, sobre todo para las fuentes de agua subterránea. Existen fuentes antropogénicas de contaminación que sólo es posible detener haciendo un esfuerzo consciente para impedir que lleguen a las fuentes de agua superficial y subterránea. Los tanques subterráneos de almacenamiento de gasolineras o incluso los tanques de combustible más pequeños utilizados en granjas se han roto con el paso de los años. Antes de que se entendieran claramente los peligros de la contaminación por combustibles, los tanques subterráneos de almacenamiento se fabricaban con materiales que no resistían el paso del tiempo. Poco a poco, pero de forma deliberada, el Ministerio de Salud de Canadá y otras entidades gubernamentales han trabajado con los propietarios para vigilar, retirar y sustituir los tanques de almacenamiento subterráneo con fugas cuando era necesario.
<b>Benceno</b>	El benceno es un producto químico incoloro e inodoro utilizado en la producción de muchos otros productos y sustancias químicas como plásticos, cauchos, algunos medicamentos y plaguicidas. Es un subproducto natural de los productos petrolíferos y es reconocido como cancerígeno. El benceno sólo debería encontrarse en el agua como resultado de un vertido.
<b>Plaguicidas</b>	Los plaguicidas son un tema difícil de abordar. Aunque muchos de ellos son hoy día mucho menos dañinos para el medio ambiente de lo que solían ser en el pasado, hay algunos plaguicidas que siguen siendo un problema para el agua potable. La respuesta no es sencilla, puesto que el sector agrícola utiliza una amplia gama de plaguicidas para asegurar que se produzcan suficientes alimentos. En cooperación con los agricultores, científicos y la comunidad gubernamental, los funcionarios creen que la respuesta puede consistir en combinar mejores productos químicos y mejores técnicas de aplicación. En el pasado no se consideró útil abordar la cuestión de las técnicas de aplicación; no obstante, muchos se dan cuenta ahora de que reducir la pulverización excesiva y utilizar solamente la cantidad de productos químicos necesaria para obtener los resultados deseados ha reducido considerablemente la cantidad de plaguicidas dispersos que llegan a nuestras fuentes de agua.

Contaminante orgánico	Descripción
<b>Productos farmacéuticos</b>	Los productos farmacéuticos han surgido recientemente como uno de los contaminantes orgánicos de las fuentes de agua potable. Aunque se encuentran en concentraciones extremadamente bajas, el hecho de que estén presentes en el agua potable es importante. Se cree que muchos de estos productos farmacéuticos llegan a las fuentes de agua a través de las aguas residuales. El cuerpo no utiliza completamente los productos farmacéuticos que consumimos y excreta algunos de ellos en la orina y las heces. Aunque nuestras aguas residuales municipales son sometidas a un intenso tratamiento, estos procesos de tratamiento nunca fueron concebidos para eliminar los productos farmacéuticos, por lo que algunos de estos productos permanecen inalterados tras ser sometidos a los procesos de tratamiento de las aguas residuales. Existen además numerosos sistemas sépticos que ofrecen poco o ningún tratamiento para los productos farmacéuticos. Prácticamente la totalidad de los productos farmacéuticos que llegan a un sistema séptico acaban en los suelos y aguas subterráneas de la zona. Aunque se conocen cuáles son los efectos de los productos farmacéuticos cuando se toman como medicamentos, se sabe muy poco acerca de los efectos para la salud que pueden tener esos fármacos cuando se ingieren en concentraciones muy pequeñas encontradas en el agua de la fuente (exposición ambiental) durante un cierto período de tiempo.

### 3.5 Otras características del agua

Existen muchas características del agua que afectan la calidad del agua potable. Algunas de ellas pueden ser de interés para los microsistemas, a saber, el pH, la alcalinidad, el Total de Sólidos Disueltos (TSD), la conductividad y la dureza.

#### 3.5.1 pH

El pH mide el grado de acidez o alcalinidad del agua. Este valor tiene que ver directamente con la concentración de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) que tiene el agua en solución. Cuanto mayor sea la concentración de iones hidrógeno, más ácida será el agua y menor será el valor del pH. El pH se mide habitualmente en una escala de 0 a 14, considerándose que un valor 0 es extremadamente ácido, mientras que el valor 14 es extremadamente básico o alcalino. El valor neutro de pH se sitúa en el medio, esto es, 7. Cada punto en la escala de pH representa un cambio de 10 veces su valor respecto al punto anterior. Dicho de otro modo, un agua con un pH de 6 tiene una concentración de iones hidrógeno 10 veces mayor que la de un agua con un pH de 7. Así que, aunque no parezca mucho, cada punto en la escala de pH supone en realidad una gran diferencia. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH que oscila entre 6.5 y 8.0, esto es, se encuentran muy cerca del valor neutro. Cada proceso de tratamiento tiene un intervalo específico de pH en el que mejor funciona. Mantener el pH dentro de ese intervalo durante el proceso de tratamiento puede ser difícil. Aquí es donde entra en juego la alcalinidad. Para algunos, la diferencia entre pH y alcalinidad puede ser la más confusa.

#### 3.5.2 Alcalinidad

La alcalinidad representa la capacidad del agua para limitar cambios de pH. En términos técnicos se refiere a la capacidad del agua para resistir los cambios en el pH. La alcalinidad, en contra de lo que piensan algunos, no representa cuán básica (esto es, por oposición a

ácida) es un agua. Este error de concepto proviene de la palabra “alcalina” y no debería tenerse en cuenta para cualquier discusión sobre la alcalinidad. La alcalinidad representa básicamente la capacidad del agua de neutralizar cualquier ácido que se agregue. Si el nivel de alcalinidad de un agua es demasiado bajo, cualquier tratamiento químico agregado causará una gran alteración del pH. Es muy importante mantener un pH estable para asegurar la eficacia de los procesos de tratamiento y la calidad y seguridad del agua. Es posible que el operador de un microsistema deba pasar cierto tiempo tratando de corregir esas variaciones del pH para que los procesos de tratamiento funcionen correctamente. Aumentar la alcalinidad puede que sea la solución para reducir suficientemente las variaciones en el pH a fin de mantenerlo estable dentro de los límites necesarios para el correcto funcionamiento de los procesos de tratamiento.

### 3.5.3 TSD

El Total de Sólidos Disueltos (TSD) es un término genérico utilizado para describir cualquier cantidad de contaminantes inorgánicos disueltos y pequeñas cantidades de materia orgánica en el agua. En general, el factor que determina si un sólido se considera “disuelto” por oposición a un sólido “en suspensión” es su capacidad de atravesar un filtro muy fino. Dependiendo del método de laboratorio utilizado, el tamaño de este filtro oscila entre las 0,45 y 2 micras. Si el sólido pasa a través del filtro, se incluye en el cálculo de TSD; si no pasa, se considera parte del Total de Sólidos en Suspensión (TSS). Normalmente, el TSD incluye el calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato y nitrato. El TSD se mide fácilmente sobre el terreno utilizando la conductividad y, posteriormente, se aplica al valor obtenido un factor de conversión específico según el tipo de agua para obtener una concentración en mg/L. De forma general, no se considera que estos sólidos disueltos constituyan un problema para la salud.

### 3.5.4 Conductividad

La conductividad permite medir la cantidad de electricidad que puede pasar a través de una muestra de agua. La mayoría de las personas piensan que el agua es un buen conductor de electricidad, pero nada más lejos de la realidad. De hecho, el agua pura es un excelente aislante (esto es, una sustancia que no conduce electricidad sino que impide que pase). Sin embargo, el agua que contiene iones (resultado de moléculas que se disuelven como la sal de mesa, por ejemplo) CONDUCIRÁ electricidad. Son estos iones los que aumentan la conductividad del agua. En otras palabras, cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos en el agua, mayor será su conductividad. Muchos operadores de sistemas de tratamiento de agua miden la conductividad como indicador indirecto del nivel de TSD. Se puede utilizar un valor de conductividad para estimar la cantidad de TSD en el agua utilizando un factor de conversión específico para el tipo de agua que permite convertirlo en una concentración en mg/L. Aunque no existe una relación exacta entre la conductividad y el TSD, una sencilla medición de la conductividad puede dar una buena aproximación del nivel de TSD en el agua.

### 3.5.5 Dureza

La dureza es causada principalmente por los iones de calcio y magnesio presentes en el agua. Estos iones proceden de depósitos geológicos naturales como la piedra caliza y la dolomita que se disuelven cuando entran en contacto con el agua, sobre todo con aguas ligeramente ácidas. El agua dura provoca la formación de sarro, una acumulación de sólidos blancos que se pueden asemejar mucho a la sal de mesa, pero que en realidad están compuestos de calcio y magnesio. El sarro se puede formar en torno a los elementos que

producen calor en las calderas y calentadores de agua, puede obstruir las tuberías y grifos, e incluso puede afectar de forma negativa otros procesos de tratamiento del agua potable. El agua dura es muy probablemente el problema más importante y frecuente en los microsistemas que utilizan agua subterránea. Es menos habitual que los sistemas de agua superficial tengan un problema con el agua dura, debido principalmente al hecho de que las aguas subterráneas están en contacto con características geológicas durante mucho más tiempo y pueden disolver más minerales en solución. No obstante, en algunos casos la dureza también puede estar presente en fuentes de agua superficial.

### 3.5.6 Color

El color en el agua indica la presencia de materia disuelta, que afecta la transmisión de la luz. El color puede ser resultado de materia orgánica disuelta en el agua, como ácidos húmicos y fúlvicos procedentes del suelo y turba, y taninos y ligninas provenientes de vegetación en descomposición. El color anaranjado del agua de los ríos se puede atribuir a menudo a los taninos. Las ligninas también pueden proceder de la descomposición de materia orgánica, sobre todo la madera. Aunque su presencia en el agua potable no supone problemas para la salud, los taninos y ligninas crean dificultades operacionales. Por ejemplo, los taninos son ácidos que reaccionan fácilmente con los metales, causando oxidación (el óxido o herrumbre es el hierro oxidado) y manchas.

La presencia de manganeso y hierro inorgánico en aguas subterráneas puede dar al agua un color negro o rojo. Los microorganismos también pueden dar color al agua, por ejemplo, las bacterias del hierro o las bacterias formadoras de biopelícula. Aunque el color sea un parámetro estético, su reducción ayuda a eliminar otros parámetros del agua (materia orgánica, hierro, manganeso, etc.). El color se mide en Unidades de Color Verdadero (UCV). El color no es un objetivo basado en criterios de salud sino más bien un objetivo estético.

## 3.6 Otros contaminantes a tener en cuenta

**El Total de Sólidos en Suspensión (TSS)** El Total de Sólidos en Suspensión (TSS) mide la cantidad de contaminantes en suspensión en el agua. Entre los sólidos en suspensión se incluye una amplia gama de materiales naturales como el cieno, suelo y material vegetal y animal en descomposición, e incluso productos de desechos industriales. Las bacterias, nutrientes, plaguicidas y metales pueden adherirse a los sólidos en suspensión, lo que podría causar importantes problemas de calidad del agua.

Una buena forma de entender el concepto de Total de Sólidos en Suspensión consiste en realizar un sencillo experimento. Tome un vaso normal de agua y mezcle en él una cucharada de tierra. Al cabo de unos minutos, parte de la tierra se sedimenta en el fondo. Éstos son los llamados sólidos sedimentables, lo que significa que no se quedan en suspensión en el agua porque son demasiado pesados. Estos sólidos no forman parte de la medición de TSS. Aunque se puede confirmar visualmente que algunos sólidos se han sedimentado, el agua sigue teniendo una apariencia sucia, causada por las partículas de la tierra que no son lo suficientemente densas para depositarse en el fondo del vaso. Éstas son las que constituyen el Total de Sólidos en Suspensión. Normalmente este valor se determina filtrando las partículas y, posteriormente, midiendo el peso total de las partículas recogidas. El Total de Sólidos en Suspensión es un indicador importante de la cantidad de contaminación física (no química o biológica) presente en una fuente de agua. Una fuente de agua con partículas sólidas en suspensión visibles siempre debe ser tratada. En cualquier sistema, incluidos los microsistemas, eliminar el TSS es un paso sumamente importante en el proceso de tratamiento del agua.

No obstante, el TSS no es el único indicador de la turbiedad o suciedad del agua. La turbidez es otro parámetro importante, aunque diferente, para los fines de agua potable.

La **turbidez** está causada por partículas diminutas suspendidas en el agua. De hecho, son tan pequeñas que apenas pesan nada y pueden no ser visibles. Por esa razón son consideradas como un parámetro separado del TSS a pesar de ser similares. Mientras que el TSS es una medida de peso, lo que la turbidez mide es la cantidad de luz dispersada por el agua. Las partículas de turbidez dan al agua una apariencia turbia pero no porque impidan mirar a través del agua sino porque dispersan la luz que se refleja en la superficie de estas diminutas partículas. Quizás la mejor manera de explicar este fenómeno es con un ejemplo, conducir un automóvil en una noche de niebla. Si se ponen las luces largas, cada partícula diminuta de humedad en el aire dispersa y refleja la luz, dificultando la visibilidad incluso a pocos metros delante del automóvil. Cuanto mayor sea el número de gotas microscópicas de humedad en el aire, menor será la cantidad de luz que brilla en la carretera delante del vehículo y mayor será la cantidad de luz dispersa y reflejada. La turbidez equivaldría a medir el grado de mala visibilidad a través de la niebla con las luces largas puestas. Las partículas de turbidez son tan pequeñas que permanecen suspendidas en el agua y pueden no sedimentarse nunca en el fondo sin un poco de ayuda. La turbidez se puede utilizar también como un indicador de la calidad del agua potable. A menudo se emplea para vigilar la eficacia de la filtración para eliminar las partículas, incluidos los contaminantes microbiológicos. Es posible que incluso las aguas que a simple vista puedan tener una apariencia cristalina contengan partículas de turbidez. Un microsistema debe eliminar la turbidez debido a la posible existencia de bacterias dañinas que se ocultan tras esas partículas, lo cual reduce la eficacia de la desinfección. Existen diversas tecnologías de filtración que se pueden utilizar para eliminar las partículas del agua antes de proceder a la desinfección.

Los **contaminantes radiológicos** pueden proceder de fuentes naturales y antropogénicas (fabricadas por el hombre). La presencia de radionúclidos naturales en el agua potable se asocia más frecuentemente con el agua subterránea. Los radionúclidos naturales están presentes en bajas concentraciones en todas las rocas y suelos. Cuando el agua subterránea ha estado en contacto con la roca durante cientos o miles de años, pueden acumularse en el agua concentraciones importantes de estos contaminantes. Estas concentraciones son muy variables y se determinan analizando la composición del lecho rocoso subyacente, así como las condiciones físicas y químicas del acuífero. Aunque con poca frecuencia, también se han dado casos de radionúclidos naturales presentes en pozos poco profundos.

### Uranio

La mayor parte de la contaminación por uranio es de origen natural, causada por el contacto del agua subterránea con uranio en la tierra, aunque también se pueden encontrar fuentes de contaminación de origen humano. El uranio se utiliza en la industria militar, de la energía nuclear y otras similares. El uranio que se encuentra en el agua subterránea no es demasiado radioactivo. Los riesgos para la salud relacionados con el uranio son las enfermedades renales, que son causadas por la naturaleza química del uranio y no por su radioactividad.

## Radio

El radio es otro material radioactivo que se encuentra a menudo junto con el uranio. Normalmente llega al agua potable procedente de fuentes naturales, aunque se pueden encontrar también fuentes de contaminación por radio de origen humano. El radio se utilizó mucho en el pasado en la producción de pinturas fosforescentes, como las utilizadas en las esferas de relojes.

Aunque a la hora de establecer recomendaciones en materia de agua potable para un contaminante, se suele tener en cuenta la capacidad de medir el contaminante y eliminarlo del agua potable, las CMP para los radionúclidos están basadas exclusivamente en los efectos sobre la salud. La exposición a la radiación de todas las fuentes puede provocar cambios en estructuras biológicas sensibles, ya sea directamente mediante la transferencia de energía a los átomos del tejido o indirectamente mediante la formación de radicales libres. Habida cuenta de que la estructura más sensible en la célula es la molécula del ácido desoxirribonucleico (ADN), la exposición a la radiación puede dañar el DNA, provocando la muerte de las células o impidiéndoles que se reproduzcan. Esto puede conllevar la pérdida de tejido, alterar las funciones de los órganos o provocar el desarrollo de cáncer. Cuanto mayor sea la cantidad de radiación recibida, mayores serán las probabilidades de sufrir esas consecuencias. Entre los tipos de cáncer asociados con mayor frecuencia a la exposición a la radiación figuran la leucemia, tumores de los pulmones, senos, tiroides, huesos, órganos digestivos, y cáncer de piel. Estos cánceres se pueden desarrollar entre cinco y varias décadas después de la exposición.

La mayoría de radionúclidos se pueden medir con fiabilidad en niveles inferiores a las CMP establecidas. En un primer momento, se pueden analizar las muestras de agua para detectar la presencia de radioactividad utilizando técnicas para determinar el índice de actividad alfa/beta total en lugar de mediciones de radionúclidos individuales. Estas mediciones suelen servir como procedimiento de control preliminar para determinar si se necesitan realizar otros análisis para radioisótopos específicos o, si ya se han realizado anteriormente análisis de radionúclidos, permiten detectar cambios en las características radiológicas de la fuente de agua potable.



## 4 Conceptos de química y cálculos básicos

### 4.1 Introducción

En este capítulo se presentan los conceptos básicos de química del agua y cálculos que usted realizará con relación al funcionamiento de un microsistema. La herramienta de aprendizaje electrónico que complementa este manual contiene animaciones detalladas que ilustran paso a paso los cálculos que realizará, por lo que debería consultarlos al mismo tiempo que lee este capítulo.

Estos cálculos son simples operaciones matemáticas, así que no debe sentirse intimidado. Las secciones le guiarán, paso a paso, en la realización de cada cálculo.

El Apéndice B contiene varios cuadros de referencia con los factores de conversión. En este capítulo le enseñaremos cómo utilizar esos cuadros.

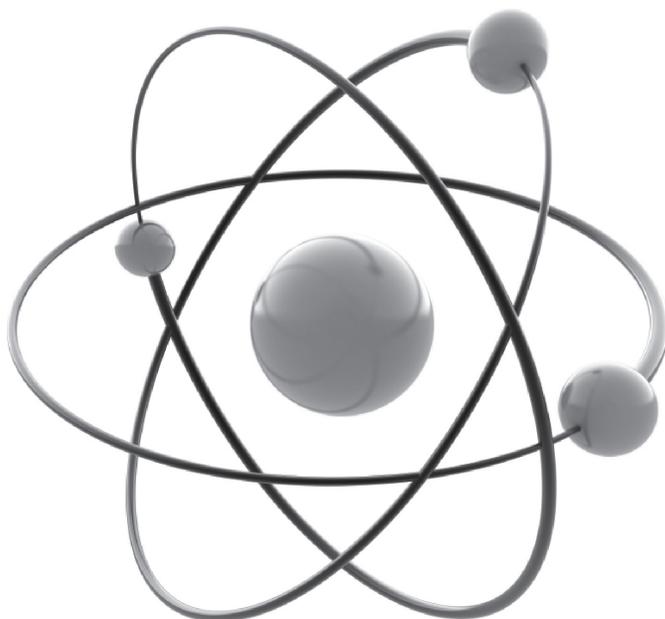
Pero antes de empezar a hacer los cálculos, debe entender la química del agua.

### 4.2 Composición química

El agua, como cualquier otra materia, está compuesta de átomos. Estos átomos son como sistemas solares en miniatura, con planetas que giran alrededor del sol. En esta representación, el sol es lo que llamamos un núcleo. El núcleo está compuesto de partículas, algunas de las cuales dan al núcleo una carga eléctrica positiva. El número de pequeñas partículas con carga positiva en el núcleo determina si se trata de un átomo de hidrógeno, calcio o manganeso, o de un átomo de alguna otra sustancia química.

Alrededor del núcleo giran partículas diminutas, denominadas electrones y con una carga eléctrica negativa. Cuando el número de electrones coincide con el número de cargas positivas del núcleo, el átomo es eléctricamente neutro. Los átomos eléctricamente neutros se llaman elementos.

**Fig. 4.1** Un átomo



Un elemento se define a veces como una sustancia química pura con carga neutra. Hasta la fecha, los científicos han descubierto 118 elementos que componen la tabla periódica. Los elementos se distinguen entre sí por el número de protones (partículas con carga positiva) que contiene el núcleo. Este número se llama el “número atómico”, que se indica claramente en la tabla periódica. Los elementos tienen una carga neutra, por lo que si tienen protones con carga positiva, también deben tener partículas de carga negativa para “neutralizar” las cargas. Estas partículas con carga negativa se denominan electrones. Los elementos suelen ganar y perder electrones todo el tiempo. Cuando esto ocurre, se convierten en “iones” cargados positiva o negativamente, dependiendo de si han ganado o perdido electrones.

Así pues, un elemento es una sustancia química con carga neutra y un ión es un elemento con algunos electrones de más o de menos que le dan una carga positiva o negativa.

Toda la materia química está constituida, de una forma u otra, por los 118 elementos, ya sea por separado o en grupos. Un grupo de elementos químicamente unidos entre sí se llama una molécula. Por ejemplo, el agua es una molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, y esto es lo que le da al agua su nombre molecular:  $H_2O$ .

### 4.3 pH y alcalinidad

En el capítulo 3 de este manual ya se han explicado los parámetros de pH y alcalinidad de la química del agua. Entender estos dos parámetros es una de las partes más importantes de la química del agua. Prácticamente todas las reacciones químicas, desde la desinfección hasta la corrosión, se ven seriamente afectadas por el pH y la alcalinidad. Si aprende primero a vigilar y controlar estos dos parámetros, le será más fácil realizar y entender los procedimientos de adiciones y ajustes químicos para otros procesos de tratamiento.

El pH mide el grado de acidez o alcalinidad del agua. En el caso del agua potable, es importante asegurar que se mantenga el pH deseado para garantizar la eficacia del proceso de tratamiento y la potabilidad. En las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá, el pH es un objetivo de calidad estética y el intervalo aceptable es entre 6.5 y 8.5. No obstante, un pH por encima de 8.5 es aceptable cuando se utilizan ciertos desinfectantes o procesos. El pH para cada etapa o proceso de tratamiento puede ser diferente, dependiendo del proceso en cuestión (por ejemplo coagulación). Es posible que el pH tenga que ser ajustado tanto antes como después de un proceso. Un pH inferior a 6.5 puede causar la corrosión de las tuberías y accesorios. Un pH por debajo de 6.5 no constituye en sí mismo un riesgo para la salud, pero puede disolver metales como el plomo, cadmio, cinc, y cobre, que pueden estar presentes en sus tuberías de agua, lo que a su vez aumentará las concentraciones de estos metales en su agua potable, lo cual sí puede plantear problemas de salud. Aunque el agua con un pH alto no suponga necesariamente un riesgo para la salud, puede dar al agua un sabor más amargo. Recuerde que un pH de 7.0 es neutro, esto es, el agua no es ni ácida ni básica.

Otro término utilizado para describir el agua que tiene un pH superior a 7.0, además de básica, es alcalina. Esto puede generar confusión acerca de la propiedad química de la alcalinidad. Se trata de dos conceptos diferentes. El agua que es alcalina tiene un pH de más de 7.0. No obstante, lo que mide la alcalinidad es la capacidad del agua de neutralizar

la adición de un ácido de tal modo que el pH no disminuya. La alcalinidad es una característica del agua importante que debe tenerse en cuenta a la hora de agregar productos químicos de tratamiento, puesto que un agua de baja alcalinidad puede provocar cambios inaceptables en el pH cuando se añade una sustancia química.

**Fig 4.2** La escala de pH



#### 4.4 Concentración

La concentración indica simplemente la cantidad de una sustancia presente en otra sustancia (como la leche en el café). Cuando hablamos del agua, la sustancia que se disuelve se llama el soluto, mientras que al agua se la llama el solvente.

Una concentración de soluto en el agua se puede expresar en peso por volumen, por ej., en miligramos por litro, partes por millón y en porcentaje. La concentración también se puede expresar en volumen por volumen, por ej., en mililitros por litro. Una unidad frecuente para medir la dureza, esto es, la cantidad de minerales causantes de la dureza en el agua, es la de granos por galón.

Como operador de un microsistema, debe familiarizarse con todas estas unidades de medida y debe ser capaz también de hacer conversiones entre esas medidas.

Por ejemplo, si hay 1 gramo (una medida de peso) de hierro en 1 litro (una medida de volumen) de agua, entonces la concentración de hierro en esa agua es de 1 g/L. Puesto que un gramo contiene 1.000 miligramos, equivaldría a una concentración de hierro de 1.000 mg/L. En este caso se trata de una concentración expresada en peso por volumen, que a veces se abrevia en las etiquetas de los contenedores como p/v. Otras veces esta concentración se expresa de otro modo, llamada partes por millón o ppm. Para las soluciones en las que el agua es el solvente, la concentración en mg/L equivale a ppm, esto es, 1 mg/L = 1 ppm. Esto se debe al hecho de que un litro de agua pesa 1.000.000 miligramos. No obstante, esta equivalencia no se aplica necesariamente a otros solventes (productos químicos).

Otra medida frecuente de concentración es la que indica el volumen de un líquido contenido en otro, esto es, una concentración expresada en un volumen por volumen (v/v). En este caso suele medirse la cantidad de líquido en menor proporción por la cantidad de líquido en mayor proporción, por ejemplo, mililitros por litro o mL/L. Así, si se agregan 5 mililitros (una cucharita) de tinte a 1 litro de agua, la concentración de ese tinte es 5 mL/L.

Para los fines de medición de la calidad del agua, existe otra concentración que se expresa como porcentaje (%). No existe una regla general respecto a si la concentración es p/v o v/v, pero el cálculo es bastante sencillo. El porcentaje se mide siempre basándose en una proporción de partes por ciento -  $1 \text{ g}/100\text{mL} = 1\% \text{ (p/v)}$  y  $1\text{mL}/100\text{mL} = 1\% \text{ (v/v)}$ .

Para el primer ejemplo presentado más arriba, una concentración de hierro de 1 g/L sería  $1\text{g}/1.000\text{mL}$ . Puesto que tenemos que expresarlo en unidades de 100 ml, dividimos ambas partes de la fórmula por 10, lo que nos da  $0,1 \text{ g}/100\text{ml}$ , esto es, una concentración de 0,1% (p/v).

El segundo ejemplo presentado es 5mL/L o  $5\text{mL}/1.000\text{mL}$ ; una vez más, si dividimos por 10 para llegar a 100mL de solución, obtenemos una concentración de  $0,5\text{mL}/100\text{mL} = 0,5\% \text{ (v/v)}$ .

Una concentración química que se expresa frecuentemente como porcentaje es la cantidad de hipoclorito de sodio en blanqueador. El hipoclorito de sodio es el agente desinfectante de los blanqueadores de cloro, y su concentración en el blanqueador de uso doméstico es normalmente de 5% (p/v). Esto significa que hay 5 g de hipoclorito de sodio en 100mL de solución blanqueadora ó  $5\text{g}/100\text{mL}$ . Esta misma concentración (5%) se puede expresar como 50 g/L.

## Una ayuda útil

Puesto que hay 1.000 mg en 1g, una concentración del 5%, o  $50\text{g}/\text{L}$ , es igual que  $50.000\text{mg}/\text{L}$ .

Como operador de un microsistema, debe conocer todas las unidades de medida y ser capaz también de hacer conversiones entre esas medidas. Consulte en el Apéndice B otros ejemplos de cálculos y conversiones.

### 4.5 Dilución

La dilución es el proceso por el que a una solución altamente concentrada se le agrega un solvente para hacerla menos concentrada (en el caso del tratamiento del agua, agua). La dilución es un proceso que ocurre cotidianamente y ni siquiera pensamos en ello. Dos ejemplos sencillos sería agregar leche al café (que diluye la concentración original de la leche) y preparar jugo de naranja a partir de un concentrado congelado (el jugo concentrado es diluido por el agua que se le añade). En estos casos, sabemos por experiencia o al seguir las instrucciones cuánto debemos diluir el producto para obtener el producto final deseado. No obstante, en lo que al tratamiento del agua se refiere, tenemos que calcular exactamente la cantidad de solución concentrada con la que debemos empezar y la cantidad de solvente (agua) que debemos agregar para llegar al resultado deseado. Es un proceso no demasiado complicado que se describe con esta sencilla fórmula:

**$V1 \times C1 = V2 \times C2$**  siendo:

V1 = el volumen de la solución (concentrada) inicial

C1 = la concentración de la solución inicial

V2 = el volumen de la solución (diluida) final

C2 = la concentración de la solución final

Ambos volúmenes y concentraciones deben expresarse en las mismas unidades. Por ejemplo, si V1 es en mL (mililitros) y C1 es en mg/L, entonces V2 debe ser en mL y C2 debe ser en mg/L.

La forma más fácil de entender este proceso es con un ejemplo.

La cloración de choque de un pozo es un proceso utilizado para tratar un pozo en el que los análisis de coliformes han dado resultados positivos. Es también un buen proceso que se puede utilizar como parte de un programa de mantenimiento regular para prolongar la vida del pozo. El proceso exige que el agua del pozo sea sometida a una cloración de choque, esto es, que se agrega cloro al agua del pozo para crear una solución con una fuerte concentración de cloro.

Diámetro del pozo y tipo de entubado: entubado de acero de 5 pulgadas (el diámetro interno es 5 pulgadas)

Profundidad total del pozo: 135 pies

Distancia entre el nivel de agua en el pozo y la superficie: 87 pies

Volumen de agua en el pozo = 6,546 pies<sup>3</sup> (ver cálculo en 4.6 - Volumen)

El cloro procederá de un blanqueador de uso doméstico, con una concentración de 5% de cloro, esto es, 5g/100mL. Por lo tanto, ¿qué cantidad de blanqueador de cloro concentrado deberá agregarse al agua para obtener, una vez diluido, una concentración final de 200 mg/L?

V1 = se desconoce

C1 = 5 g/100 mL = 50 g/L = 50.000 mg/L

V2 = 6,546 pies<sup>3</sup> x 28,317 L / pies<sup>3</sup> = 185,36 L

Nota: el factor de conversión de 28,317 para convertir los pies cúbicos en litros se encuentra en el cuadro incluido en el Apéndice B.

C2 = 200 mg/L

$V1 \times C1 = V2 \times C2$

Se puede cambiar el orden de los elementos de esta fórmula para despejar la incógnita V1 del siguiente modo:

$V1 = V2 \times C2 / C1$

Por consiguiente,  $V1 = 185,36 \text{ L} \times 200 \text{ mg/L} / 50.000 \text{ mg/L} = 0,741 \text{ L} = 741 \text{ mL}$

Si se agregan al pozo 741 mL de solución de blanqueador de cloro al 5% se diluirá la solución concentrada para obtener una concentración final de 200 mg/L (200 ppm en el pozo).

## 4.6 Volumen

Por volumen se entiende la cantidad de espacio que ocupa un objeto. De vez en cuando, el operador de un microsistema tendrá que calcular los volúmenes de dos formas básicas: depósitos rectangulares y depósitos cilíndricos. La cantidad de agua en un depósito rectangular se calcula multiplicando la longitud del contenedor por la anchura por la altura. En otras palabras, el volumen equivale a la longitud por la anchura por la altura (o profundidad).

Sin embargo, para calcular la cantidad de agua en los pozos y otros depósitos cilíndricos se utiliza una ecuación diferente. El volumen de un cilindro es igual a pi ( $\pi$ ) (una constante matemática cuyo valor es 3,1416), multiplicado por el radio de la base del depósito, por el radio de la base del depósito otra vez, por la altura del cilindro. En otras palabras, el volumen es igual a pi, por el radio de la base del cilindro elevado al cuadrado, por la altura del cilindro.

A la hora de hacer estos cálculos, debe tener en cuenta que se pueden utilizar diferentes unidades de medida para indicar el volumen (milímetros, litros, pies cúbicos, metros cúbicos, onzas de líquido, pintas, cuartos de galón, galones (US), por nombrar sólo algunos. Debe asegurarse de que las unidades de medida utilizadas para indicar la longitud, anchura y altura de un depósito rectangular, o el radio y la altura de un depósito cilíndrico sean todas iguales.

Las fórmulas son:

$V = L \times An \times Al$  (para una forma de prisma rectangular) siendo:

V = volumen

L = longitud

An = anchura

Al = altura

La longitud, anchura y altura deben estar expresadas en las mismas unidades; por ejemplo, si todas están en pulgadas, el volumen resultante será en pulgadas<sup>3</sup>; si todas están expresadas en mm, el volumen resultante será en mm<sup>3</sup>.

$V = \pi \times R^2 \times A$  o  $V = \pi \times D^2 / 4 \times A$  (para una forma cilíndrica), siendo:

V = volumen

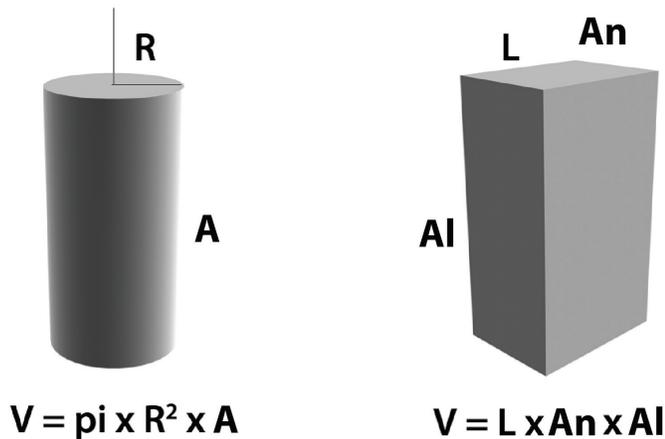
R = radio de la base

D = diámetro de la base

A = altura del cilindro

$\pi = \text{Pi} = 3,1416$

Tal como ya se ha indicado, el radio (o diámetro) y la altura deben estar expresados en las mismas unidades, lo que dará un volumen en esas mismas unidades.

**FIG 4.3** Los volúmenes de un cilindro y un prisma rectangular

Aquí se presenta un ejemplo práctico sobre cómo calcular el volumen.

En la sección 4.5 - Dilución, se utilizó el ejemplo cloración de choque en un pozo en el que los análisis de coliformes habían dado resultados positivos. En ese ejemplo se daba el volumen de agua del pozo; a continuación se muestra cómo calcular el volumen.

Diámetro del pozo y tipo de entubado: entubado de acero de 5 pulgadas (el diámetro interno es 5 pulgadas)

Profundidad total del pozo: 135 pies

Distancia entre el nivel de agua en el pozo y la superficie: 87 pies

¿Cuál es el volumen de agua en el pozo?

Altura = profundidad del agua en el pozo = 135 pies - 87 pies = 48 pies

Diámetro = diámetro interior del pozo = 5 pulgadas x 1 pie / 12 pulgadas = 0,4167 pies

Radio = radio del pozo = diámetro / 2 = 0,4167 / 2 = 0,20835 pies

Volumen =  $\pi \times R^2 \times A = 3,1416 \times 0,20835 \times 0,20835 \times 48 = 6,546$  pies<sup>3</sup>

#### 4.7 Caudal

Dicho de la forma más sencilla, la velocidad del flujo mide el volumen en un período de tiempo específico. Se trata de una medida muy frecuente en el ámbito del tratamiento del agua, dado que el tamaño físico de los aparatos de tratamiento limita la cantidad de agua que pueden tratar en un período de tiempo dado. En términos matemáticos, el caudal —Q— equivale al volumen dividido por el tiempo.

Numerosos dispositivos de tratamiento se clasifican en función de su capacidad de tratamiento, por ejemplo, en galones US por minuto (USGPM), pies cúbicos por segundo (pcs), galones por minuto (GPM) y galones por día (GPD).

A continuación se incluyen algunas conversiones habituales para el caudal en galones US:

1 pie<sup>3</sup>/s (pcs) = 0,0283 m<sup>3</sup>/s = 28,317 L/s = 448,8 galones US por minuto = 646,317 galones US por día

y, de forma similar, para los galones imperiales:

1 pie<sup>3</sup>/s (pcs) = 0,0283 m<sup>3</sup>/s = 28,317 L/s = 373,7 galones imperiales por minuto = 538.171 galones imperiales por día

Entender el caudal también puede ser útil para calcular cuánto tiempo tardarán ciertos eventos en ocurrir. He aquí un ejemplo práctico:

#### Ejemplo de cálculo del caudal

En la parte posterior de un camión hay un depósito de 300 galones (US). ¿Cuánto se tardará en llenar el depósito con una manguera de jardín con un caudal de 1,5 galones US por minuto?

Repetimos que el caudal mide el volumen por unidad de tiempo, expresado matemáticamente por la fórmula:

$Q = V / T$ , siendo:

Q = caudal

V = volumen

T = tiempo

Los elementos de esta fórmula se pueden expresar en diferente orden para despejar el tiempo o el volumen:

$T = V / Q$  o  $V = Q \times T$

En el ejemplo propuesto, se pregunta por el tiempo, por lo que la solución sería:

$T = V / Q = 300 \text{ (galones US)} / 1,5 \text{ galones US por minuto} = 200 \text{ minutos} = \text{¡}3 \text{ horas y } 20 \text{ minutos!}$

## ¡Evite los errores comunes!

A la hora de hacer cálculos, recuerde que se pueden utilizar diferentes unidades de medida para indicar el volumen (milímetros, litros, pies cúbicos, metros cúbicos, onzas de líquido, pintas, cuartos de galón y galones (US), por nombrar sólo algunos. Debe asegurarse de que las unidades de medida utilizadas para indicar la longitud, anchura y altura de un depósito rectangular, o el radio y la altura de un depósito cilíndrico sean todas iguales.

Asimismo, a la hora de calcular el volumen de un cilindro, asegúrese de utilizar el RADIO de la base del cilindro, y no el DIÁMETRO. El radio es igual a la mitad del diámetro.

## 4.8 Cálculos de conversión

La presión y la temperatura del agua son dos características importantes del agua. Ambas pueden ser representadas con una de varias unidades de medida.

Por ejemplo, una unidad de medida para la presión es libras por pulgada cuadrada (psi). Otra es kilopascales (kPa). Como ejercicio, convierta 50 libras por pulgada cuadrada en kilopascales.

Una vez más, la clave para resolver este problema reside en el cuadro de unidades y conversiones incluido en el Apéndice B. Consulte el texto bajo el título "Presión". El cuadro indica que  $1 \text{ kPa} = ,145 \text{ psi}$ . No obstante, el problema requiere convertir en la otra dirección, esto es, de libras por pulgada cuadrada a kilopascales. En este caso, tenemos que dividir, y no multiplicar, por el factor de conversión:

$$50 \text{ psi} \times 1 \text{ kPa} / ,145 \text{ psi} = 344,8 \text{ kPa}$$

Ahora, para convertir temperaturas: convierta 25o Celsius a grados Fahrenheit. Si consulta la información de conversión del Apéndice B, verá que para hacer esta conversión es necesario multiplicar el número de grados Celsius por 1,8 y, posteriormente, agregar 32 para obtener el número de grados Fahrenheit.

$$25\text{o C} \times 1,8 = 45 + 32 = 77 \text{ o F}$$

Para convertir grados Fahrenheit a grados Celsius, basta con invertir el proceso de conversión: restar 32 del número de grados Fahrenheit y dividir por 1,8 para obtener el número de grados Celsius.

$$77 \text{ o F} - 32 = 45 / 1,8 = 25\text{o C}$$

Tal como se indica más arriba, la herramienta de aprendizaje electrónico incluye ejemplos de cálculos que suelen utilizarse en el área de la calidad del agua para los microsistemas.

**Para poner a prueba su nivel de comprensión del contenido de capacitación estudiado hasta ahora, intente responder a las preguntas que aparecen al final del Apéndice B.**



## 5 Tecnologías de tratamiento

### 5.1 Introducción

Existen numerosas tecnologías de tratamiento para los sistemas de tratamiento del agua potable aunque, en términos generales, solamente unas pocas se utilizan regularmente en las operaciones de microsistemas. Un sistema de tratamiento puede conllevar una o varias etapas individuales de tratamiento. Al conjunto de estas etapas se le conoce habitualmente como el “tren de tratamiento”. Cada sistema tendrá un tren de tratamiento ligeramente diferente en función de los parámetros y características individuales de cada fuente de agua.

La finalidad principal de todas las tecnologías utilizadas en el tren de tratamiento es garantizar que el agua se pueda consumir sin peligro. Algunas tecnologías, como la desinfección, abordan directamente la seguridad del agua matando o inactivando los microorganismos que provocan enfermedades. En el caso de otras tecnologías, puede resultar más difícil ver el objetivo final, pero cada etapa es importante. Por ejemplo, el agua que entra por un filtro puede parecer igual de limpia que el agua que sale de él, pero recuerde que no son siempre los contaminantes visibles los que provocan problemas operacionales y de salud.

Un tren de tratamiento es concebido para responder a cuestiones específicas y las etapas o componentes se incorporan en una secuencia determinada a fin de garantizar un funcionamiento óptimo. Todos los sistemas exigen también un proceso de monitoreo y procedimientos regulares de funcionamiento y mantenimiento, desde la dosificación de productos químicos hasta el lavado a contracorriente, e incluso la sustitución de componentes críticos. Este capítulo describe brevemente una serie de técnicas de tratamiento habituales, muchas de las cuales se pueden integrar en las etapas del tren de tratamiento de un microsistema. Obsérvese que para cada técnica pueden existir múltiples tecnologías de tratamiento del agua. Para obtener información sobre la función específica de los componentes del sistema, consulte la información del fabricante o comuníquese con un especialista en calidad del agua que podrá explicarle cómo funciona su sistema y cuáles son sus limitaciones.

**Fig. 5.1** Ejemplo de tren de tratamiento



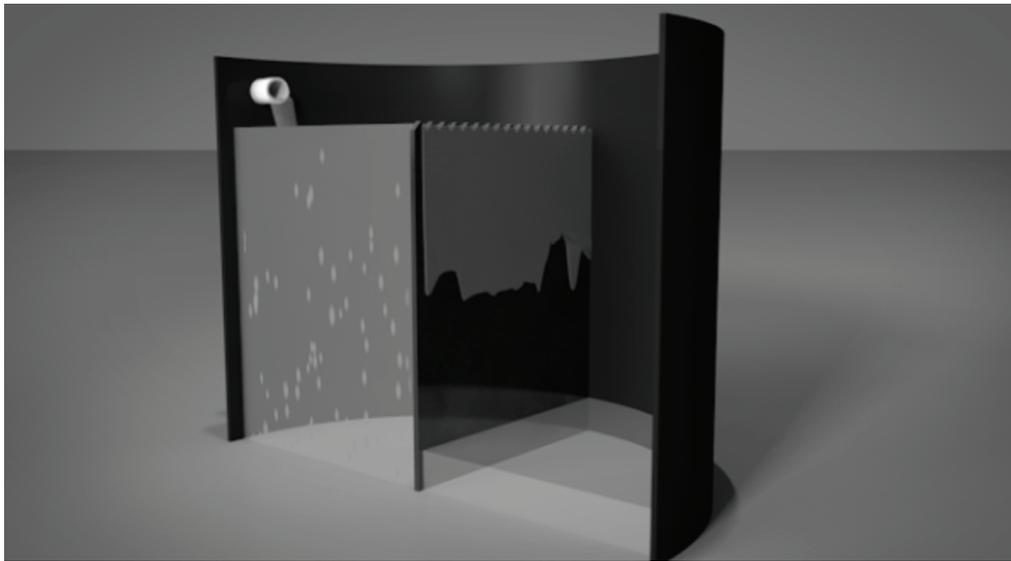
**Sabía que:**

Se puede utilizar aluminio, que puede darse de forma natural, para tratar el agua potable. Se ha sugerido también que el aluminio es una de las causas que provocan la enfermedad de Alzheimer, la esclerosis lateral amiotrófica y otras formas de demencia senil. Todavía no está claro si el aluminio es la causa de estas enfermedades o si son las enfermedades las que hacen que los tejidos cerebrales retengan el aluminio de forma secundaria.

## 5.2 Clarificación

En palabras sencillas, la clarificación es cualquier proceso que elimina sólidos del agua. En el Capítulo 3 se han explicado los distintos tipos de sólidos que pueden estar presentes en el agua bruta. Algunos sólidos se depositarán (sedimentación) fácilmente en el fondo; las partículas más densas se sedimentarán rápidamente mientras que las otras necesitarán más tiempo. No obstante, muchas partículas permanecen suspendidas en el agua. Las partículas en suspensión se encuentran casi siempre en el agua superficial, y la clarificación es una etapa convencional y, por lo general, fundamental para tratar toda el agua superficial. La clarificación suele conllevar dos procesos: hay que esperar el tiempo suficiente para que las partículas sólidas se asienten o cambiar las características químicas del agua para que la sedimentación se produzca con mayor rapidez. Estos tipos sencillos de clarificación en los que el elemento principal es la sedimentación se consideran pasivos, lo que significa que no necesitan demasiada energía para funcionar. La clarificación es una buena primera etapa en un tren de tratamiento puesto que es fundamental para reducir al máximo la cantidad de sólidos en suspensión presentes en el agua. Muchos otros procesos como la filtración y desinfección dependen en gran medida del éxito del proceso inicial de clarificación para funcionar de forma eficaz.

Las presas y otros dispositivos similares se utilizan habitualmente en el punto de toma de agua. Básicamente, estos dispositivos permiten tomar el agua de las capas superiores más limpias del agua almacenada, que tienen la menor concentración de sólidos en suspensión. Se trata de un dispositivo sencillo pero al mismo tiempo eficaz para reducir los sedimentos y sólidos suspendidos en el agua de mayor tamaño, aunque no conseguirá eliminar las partículas en suspensión muy pequeñas (materia “coloidal”). Otro dispositivo de uso frecuente es un depósito o estanque de sedimentación. Antes de pasar por la etapa de tratamiento de un microsistema, se deja que el agua fluya por un tanque o estanque de sedimentación, lo que da a las partículas tiempo para sedimentarse. Estos dispositivos se emplean especialmente con frecuencia en los microsistemas que utilizan fuentes en movimiento de agua superficial (arroyos y ríos), puesto que estas fuentes tienen una gran cantidad de sólidos en suspensión que son agitados de los sedimentos por el agua que fluye. Los depósitos de sedimentación dan tiempo a los sólidos en suspensión de mayor tamaño y peso a sedimentarse en el fondo del estanque. El agua se toma de la parte superior del depósito, ya sea directamente mediante una tubería o utilizando una presa tal como se ha descrito previamente.

**Fig 5.2** El concepto de presa

Si se realiza un monitoreo y mantenimiento regulares, una configuración sencilla con un estanque de sedimentación o presa puede reducir enormemente el nivel de tratamiento que se necesita en las etapas siguientes del tren de tratamiento. Esto es especialmente cierto si el tratamiento incluye filtración, puesto que la eliminación de sólidos en suspensión mediante el proceso de clarificación mejora la eficacia y funcionamiento de los filtros.

A fin de eliminar un mayor número de partículas en suspensión se puede ajustar la composición química del agua agregando productos químicos llamados coagulantes (sustancias químicas a base de hierro o aluminio). Los coagulantes se añaden para facilitar la coagulación de los sólidos en suspensión (que forman partículas de mayor tamaño llamadas “flóculos”) y acelerar la sedimentación. Se trata de una práctica frecuente en los sistemas que utilizan fuentes de agua superficial con altas concentraciones de partículas de tierra en suspensión (como el cieno) y otros sólidos en suspensión.

El uso de sustancias químicas coagulantes requiere la dosificación, realización de análisis y monitoreo adecuados, lo que puede hacer el proceso demasiado complicado para los microsistemas. No obstante, hay que señalar que se han adaptado algunos enfoques únicos de coagulación química para su uso en microsistemas y ya están disponibles en el mercado. Por lo general, sólo se necesita comprender de forma básica cuál es la dosis necesaria de productos químicos y es preciso que las necesidades de dosificación de productos químicos del suministro de agua no sea muy variable. El producto químico se inyecta en el agua y se espera a que el flóculo resultante se sedimente en un depósito de sedimentación especialmente diseñado antes de filtrar el agua. Estos sistemas de coagulación y clarificación adaptados a los microsistemas han funcionado bien para los operadores de microsistemas e incluso se utilizan en algunas comunidades rurales pequeñas.

### 5.3 Filtración

La filtración es un proceso por el que se eliminan del agua las partículas. La forma más habitual de lograrlo es filtrándolas por un material filtrante poroso como la arena,

donde los espacios entre las partículas (vacíos o poros) son demasiado pequeños para que las partículas pasen. La finalidad principal de un filtro es eliminar sólidos en suspensión como las partículas que causan turbidez. A la hora de elegir un filtro y diseñar el material filtrante se tiene en cuenta el tipo y tamaño de partículas que se desean eliminar del agua de la fuente. Algunas de las características fundamentales en el diseño de los filtros son la distribución del tamaño de granos, la profundidad, volumen y superficie del medio filtrante, y el caudal del agua a través del medio filtrante. En ocasiones se puede utilizar una secuencia de filtros de modo que se colocan filtros iniciales más gruesos para eliminar partículas de mayor tamaño y filtros posteriores más finos para eliminar las partículas más pequeñas. La velocidad de filtración es un elemento clave del diseño. Las velocidades de filtración más lentas atrapan más partículas que las velocidades de filtración más rápidas. Los filtros están limitados por la cantidad de material que se elimina y cada cierto tiempo deben ser limpiados (lavados a contracorriente) de forma regular.

Existen filtros de diversas formas, tamaños y tipos. Los más sencillos contienen un único tipo de material como la arena. Los filtros más complejos contienen múltiples capas de arena, gravilla y otros materiales filtrantes con distribuciones específicas del tamaño de granos. Algunos filtros pueden incluir capas de un material llamado carbón activado granular o CAG (similar al carbón vegetal). Otros filtros como cartuchos, canastas y coladores de acero realizan un filtrado físico. Los filtros de cartucho pueden utilizar material sintético compuesto por papel o tela de textura muy tupida; algunos cartuchos de materiales pétreos comprimidos están diseñados para eliminar aún con mayor eficacia las partículas muy pequeñas.

En la primera etapa de la filtración de un microsistema se suele utilizar una pantalla o filtro de toma grueso. Si su microsistema utiliza agua superficial, el punto de toma normalmente está rodeado por una pantalla. Aunque pueda no parecerlo, esta pantalla de la toma es un filtro. El agua fluye a través de un dispositivo restrictivo (la pantalla), que está diseñado para impedir la entrada a su sistema de residuos de gran tamaño como palos, rocas y otras cosas como animales. Después de este filtro grueso, entre los componentes de un sistema de filtración convencional se pueden incluir un depósito de sedimentación, seguido de filtros de arena y gravilla, y otros componentes de tratamiento posteriores. Estos filtros se pueden utilizar de forma ininterrumpida si se mantienen adecuadamente, lo cual incluye ciclos programados de lavado a contracorriente.

Algunos sistemas pueden tener únicamente filtros de tipo cartucho, o pueden combinar filtros convencionales y de cartucho. Los sistemas de filtro de cartucho suelen utilizar varios filtros sucesivos de gruesos a finos. Por lo general el primer filtro es el que realiza la prefiltración del agua. A menudo, estos filtros eliminan partículas con tamaños de 5 a 50 micras. Puede parecer bastante pequeño, pero en el mundo microbiano del agua, incluso 5 micras se considera grande. La mayoría de los microorganismos y todos los sólidos disueltos pasarán a través de este filtro. Los sedimentos y sólidos en suspensión de tamaño superior a las 5 micras serán eliminados. Dependiendo de las características del agua de la fuente, el sistema puede incluir uno o varios filtros adicionales después del prefiltro. Todos estos filtros funcionan básicamente del mismo modo, esto es, dejan fluir el agua atrapando a su paso por el filtro las partículas de tamaños específicos. La mayoría de los filtros de cartucho están diseñados para ser sustituidos por un nuevo cartucho cada cierto tiempo.

#### 5.4 Filtros de arena y filtros multimédios

La filtración mediante arena es una tecnología utilizada desde hace siglos. En este tipo de filtro, el agua se sitúa encima de un lecho de arena y, por gravedad, fluye a través de la arena donde es recogida por un sistema llamado el drenaje de salida, habitualmente un grupo de tuberías perforadas conectadas. Los granos entrelazados de arena forman el filtro, que sólo dejan pasar las partículas muy finas. Además de las restricciones físicas que las partículas entrelazadas presentan a los contaminantes, los filtros de arena también eliminan partículas mediante un proceso denominado adsorción electrostática. Las fuerzas electrostáticas hacen referencia al hecho de que los granos de arena tienen naturalmente cargas eléctricas ligeramente positivas en su superficie. Los sedimentos y partículas coloidales de pequeño tamaño suspendidos en el agua tienen cargas naturales negativas. A medida que el agua pasa por los granos de arena, los contaminantes se adsorben a los granos (quedan pegados a su superficie externa) gracias a esas “fuerzas electrostáticas”. Este tipo de “proceso químico” se asemeja en cierto modo a la coagulación química, pero con una intensidad mucho menor. Este tipo frecuente de filtro de arena suele ser conocido por el nombre de “filtro rápido de arena”.

**Fig 5.3** Un filtro lento de arena



Cuando el filtro de arena se llena de las partículas que debía eliminar, debe ser limpiado lavándolo a contracorriente. El lavado a contracorriente consiste en hacer pasar a presión por el filtro en sentido contrario un alto caudal de agua para desprender las partículas atrapadas en la arena. El agua del lavado a contracorriente debe ser eliminada de forma adecuada, siguiendo las instrucciones de un especialista en calidad del agua. Con un debido mantenimiento, un filtro rápido de arena tendrá una larga vida útil.

Un filtro de arena permite eliminar con eficacia las materias suspendidas. Con el tiempo se han realizado mejoras a esta sencilla técnica de filtración utilizando distintos tamaños de arena y otros materiales, lo que ha dado lugar a la creación de filtros multimedios. Tal como indica su nombre, estos filtros incluyen varios tipos de medios o materiales filtrantes de distintas densidades y tamaños como arena, granate, antracita (un tipo de carbón duro) y gravilla. Están diseñados para actuar con la misma eficacia que un filtro de arena, pero pueden tratar una mayor cantidad de agua con un filtro del mismo tamaño. Las capas de medios filtrantes están concebidas para permanecer en su sitio durante el lavado a contracorriente debido a sus distintas densidades, de tal modo que al terminar el ciclo de lavado a contracorriente, los materiales más pesados son los primeros en depositarse en el fondo, mientras que los más ligeros permanecen en la parte superior.

Tal como se ha indicado anteriormente, uno de los aspectos fundamentales es el caudal de agua que pasa por el filtro. En los filtros de arena o multimedios, por regla general, cuanto más lento sea el caudal, mejor resultados dará el filtro. La filtración por gravedad es el método más frecuente y más práctico para lograr un equilibrio entre la eliminación de partículas y la frecuencia de lavado a contracorriente del filtro. No obstante, los filtros de gravedad ocupan mucho espacio que, en el caso de los microsistemas, suele ser escaso. Muchos microsistemas utilizan filtros de presión que son mucho más pequeños que los filtros de gravedad pero suelen ser menos eficaces que la filtración por gravedad. El diseño de los filtros de presión y la frecuencia del lavado a contracorriente deben ser siempre adecuados y estar adaptados a las características del agua de la fuente; asimismo, deben ser capaces de responder a los posibles cambios en la calidad del agua, sobre todo cuando se produce un aumento de las cargas de sedimentos o algas.

Uno de los mejores filtros para eliminar partículas es un filtro lento de arena, operado a un caudal muy bajo, en el que el agua pasa por varias capas sucesivas de arena fina a gruesa y, posteriormente, por gravilla. Estos filtros se basan en la formación de una capa biológicamente activa en la parte superior de la arena. Esta capa se denomina "schmutzdecke", una palabra alemana que significa "piel sucia". Además de la filtración física que ofrece la arena, los organismos que se producen naturalmente en el schmutzdecke consumen o convierten distintos contaminantes, aumentando de ese modo su eliminación del agua. Por ejemplo, algunos organismos eliminan hierro o arsénico, mientras que otros eliminarán otros organismos microscópicos. Hay que tener cuidado ya que el caudal de agua que pasa a través del filtro lento de arena puede detenerse por completo si se permite que schmutzdecke sea demasiado denso. Cuando el flujo se reduzca, debe raspar el schmutzdecke y agregar varios centímetros de arena.

Los filtros lentos de arena se han adaptado a los microsistemas para que puedan ser utilizados en los hogares y han tenido mucho éxito con los suministros de aguas subterráneas. Pueden tener una aplicación limitada con las fuentes de aguas superficiales

que normalmente tienen cargas mayores de partículas y algas, que hacen que los filtros se obstruyan prematuramente. Como ocurre con cualquier tipo de tratamiento, es fundamental que cuando estos tipos de sistemas de filtración forman parte del tren de tratamiento, se haya establecido un proceso de desinfección antes de utilizar el agua.

Asegúrese de seguir las recomendaciones del fabricante relativas al funcionamiento y mantenimiento de los filtros rápidos y lentos de arena y los filtros multimedios y de presión.

### 5.5 Filtros de carbón activado granular

Los filtros de carbón activado granular (CAG) son otra de las opciones frecuentes para los microsistemas y se utilizan para eliminar la materia orgánica y los problemas relacionados con el color, sabor y olor. La palabra “activado” se debe al hecho de que durante el proceso de fabricación, se introducen granos de carbón en un horno a una temperatura muy específica. El calor hincha los granos de carbón como si fueran cereales de arroz inflado. El proceso crea numerosas ranuras y protuberancias en los granos de carbón, dando lugar a una superficie de amplias dimensiones en la que puede producirse la adsorción. La adsorción es un proceso químico que elimina la materia orgánica disuelta y compuestos responsables del color, sabor y olor. Los filtros de CAG utilizan grandes volúmenes (o lechos) de carbón, y necesitan un tiempo suficiente de contacto entre el agua y el medio de carbón. La materia orgánica disuelta se adsorbe o adhiere químicamente a la amplia superficie del carbón activado granular. Con el tiempo, la capacidad de los filtros de CAG para adsorber contaminantes se agota y el medio “se gasta”, siendo necesario sustituirlo.

#### Sabía que:

Los bebederos de agua potable deben ser desinfectados como mínimo cada dos meses y con mayor frecuencia si se utilizan constantemente.

**Fig 5.4** Un filtro de carbón activado granular



Los adelantos recientes en el ámbito de los filtros CAG han dado lugar al diseño de filtros biológicos de CAG. Los filtros biológicos de CAG han sido adaptados con éxito a los microsistemas y logran eliminar la materia orgánica disuelta de los microsistemas. Este tipo de sistema se basa en una combinación de eliminación biológica de materia orgánica y, posiblemente, la regeneración biológica de la capacidad del carbón de adsorber la materia orgánica. El sistema ha sido adaptado con éxito para ser utilizado en microsistemas utilizando un filtro de arena de gravedad delante de un filtro biológico

de CAG. El diseño está disponible en el mercado para sistemas individuales y pequeñas comunidades.

Obsérvese que tanto los filtros de CAG ordinarios como biológicos deberán ser sustituidos o reactivados transcurrido cierto tiempo. Una vez que el filtro se haya agotado, sustituya el medio del filtro o devuélvalo al fabricante para que lo reactive.

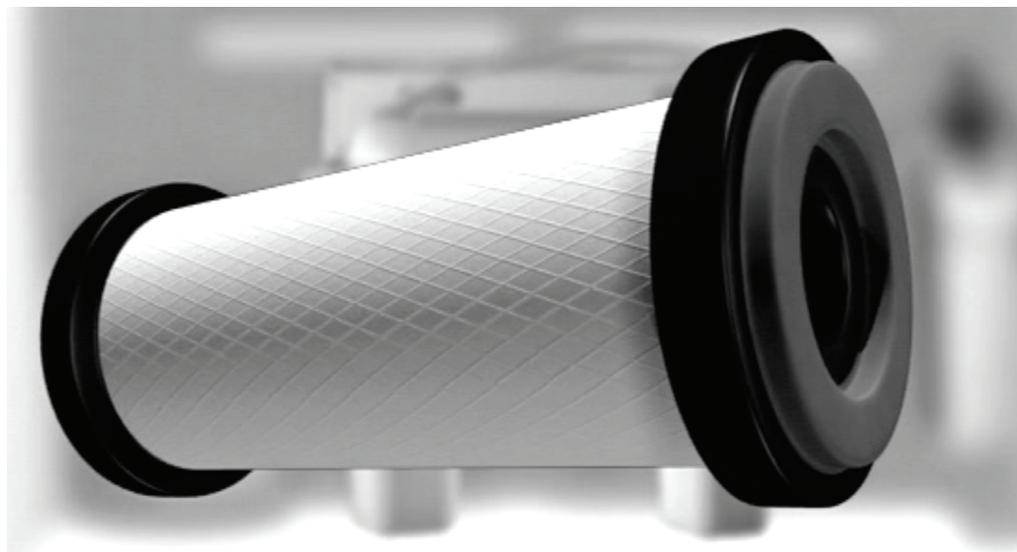
### 5.6 Filtros de cartucho

Los filtros de cartucho son otro tipo de filtro utilizado en los microsistemas. La ventaja de todos los filtros de cartucho es que son fáciles de cambiar y se pueden distribuir en una combinación ilimitada de tamaños diferentes para adaptarse a prácticamente todas las fuentes de agua. Existen dos tipos básicos de filtros de cartucho: filtros plisados (o de superficie) y filtros de profundidad. Ambos reciben su nombre en función del lugar en el que quedan atrapadas las partículas, esto es, en la superficie externa en el caso de los filtros plisados, o en toda la profundidad del cartucho en el caso de los filtros de profundidad. Los filtros plisados se pueden limpiar lavándolos a contracorriente, por lo que, en cierta medida, son reutilizables. Los filtros de profundidad se obstruyen al cabo del tiempo y deben ser sustituidos de forma regular. Se presentan en una envoltura de plástico o metal, con una longitud de 0,5 metros hasta varios metros. Algunos cartuchos pueden contener carbón y actuar de forma similar a los filtros de CAG. Muchos restringen la contaminación basándose solamente en una cuestión de tamaño, ya sea mediante un rollo firmemente apretado de cordón, papel o tejido, o comprimiendo polvos en un bloque sólido que es permeable únicamente al agua y quizás algunos contaminantes muy pequeños. Estos sistemas son útiles solamente cuando se dispone de agua relativamente limpia, y pueden resultar costosos al ser necesario sustituir los cartuchos constantemente.

#### Sabía que:

Los dispositivos de osmosis inversa para fregaderos de cocina producen agua rechazada en cantidades equivalentes a entre siete y veinte veces el volumen del agua tratada. Esto significa que por cada litro de agua potable producido, el dispositivo de osmosis inversa rechaza entre siete y veinte litros de agua residual.

**Fig 5.5** Un filtro de cartucho

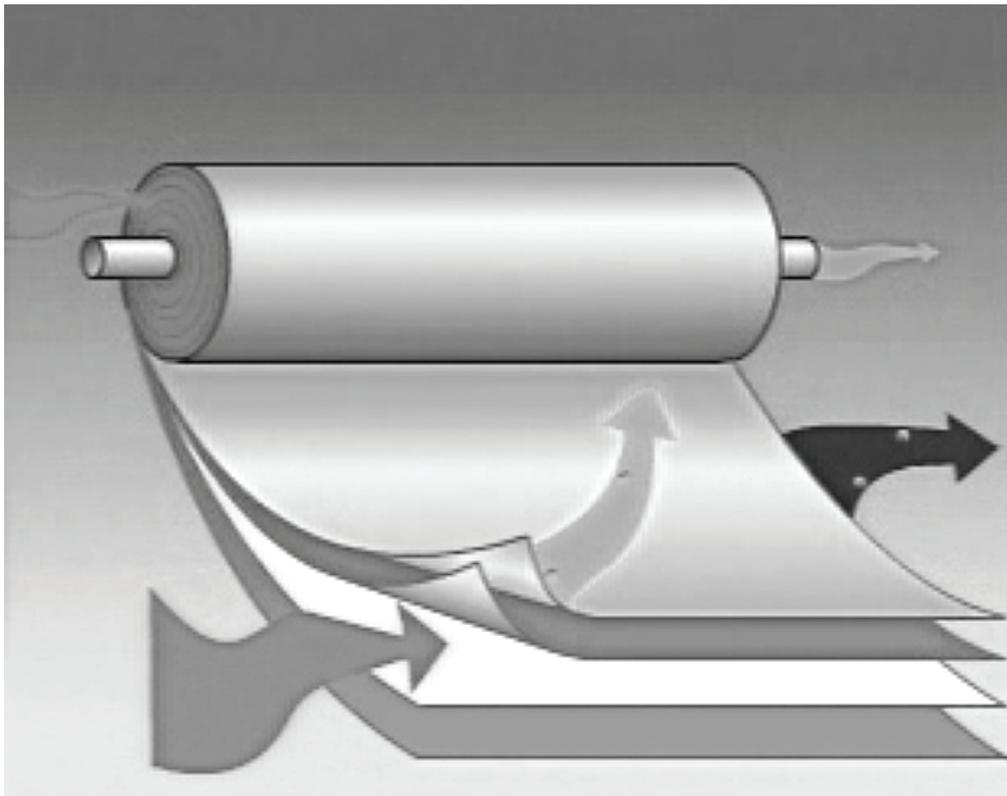


### 5.7 Filtros de membrana

En el extremo de mayor calidad del espectro de los filtros se encuentra el filtro de membrana. Los filtros de cartucho y los de filtración a través de lechos de medios (arena, carbón, etc.) se basan en un proceso físico que implica la separación de las

partículas sólidas del agua líquida. Los filtros de membrana funcionan siguiendo en gran medida el mismo principio; no obstante, están diseñados para eliminar partículas muy pequeñas y algunos filtros de membrana pueden eliminar incluso partículas que están disueltas en el agua. Esta familia de filtros incluye (del de mayor grosor al más fino) membranas de microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y filtración por osmosis inversa (OI). Los filtros de membrana son una elección común para los microsistemas. Las membranas de nanofiltración y filtración por osmosis inversa pueden filtrar normalmente partículas de un tamaño 10 veces inferior al de un virus de tamaño medio. En general, en los filtros de membrana se necesita una presión elevada para desplazar el agua a través de la membrana que eliminará todos los contaminantes de tamaño superior al del diámetro de filtración de la membrana. Solamente una parte del agua que llega a la membrana se filtra; entre el 50% y 85% del agua es rechazada, y esta agua desechada contendrá los contaminantes filtrados del agua tratada, aumentando la concentración de contaminantes en el flujo de agua rechazada. La eliminación del agua de desecho concentrada puede ser muy costosa y se debe tener en cuenta su impacto para el medio ambiente. Por lo general, el agua debe ser sometida a un tratamiento previo debidamente diseñado antes de pasar por el filtro de membrana para evitar que éste se obstruya con partículas de mayor tamaño o sea contaminado por otros componentes (como la dureza, hierro y los numerosos contaminantes químicos y biológicos que se encuentran en todas las fuentes de agua subterránea). Además, debido al tamaño diminuto de los poros de los filtros de membrana, tratar el agua con este tipo de filtro es un proceso mucho más lento que cualquier otro tipo de proceso de filtración.

**Fig 5.6** Un filtro de membrana



Es importante vigilar regularmente el rendimiento de los filtros de membrana. Se debe prestar especial atención a cualquier cambio en la calidad o cantidad del agua tratada. Si el rendimiento del filtro no es óptimo puede ser una indicación de que el agua no ha sido debidamente pretratada, o que los componentes anteriores del tren de tratamiento no están funcionando adecuadamente. Puede indicar también que el filtro de membrana está sucio.

Algunas veces los filtros se deterioran lo suficiente como para dejar pasar el agua no tratada. En estos casos es necesario reconocer el problema y reparar o sustituir el filtro. Muchos fabricantes incluyen recomendaciones acerca de la sustitución de las unidades de filtración. Consulte el folleto o manual del producto incluido en su unidad de filtración y vigile la calidad del agua tratada para detectar con prontitud indicios de deterioro del filtro.

Al igual que el resto de los filtros, con el tiempo los contaminantes pueden obstruir hasta tal punto los filtros de membrana que el agua no puede pasar. Los filtros de membrana se pueden limpiar mediante lavados químicos, o también pueden ser enviados al proveedor para que los limpie. Siga las instrucciones del fabricante relativas a la reinstalación, funcionamiento y mantenimiento de los filtros de membrana.

**Para obtener más información sobre los sistemas de filtración y osmosis inversa, consulte los módulos del DVD sobre**

sistemas de filtración e intercambio iónico para microsistemas, y sobre el uso de rayos ultravioleta y osmosis inversa para microsistemas.

## 5.8 Oxidación

La oxidación, aunque no sea necesariamente en sí misma una tecnología de tratamiento, es un proceso químico que puede mejorar la filtración al convertir una parte de las partículas disueltas en partículas suspendidas insolubles. Este proceso se utiliza habitualmente para convertir en partículas contaminantes disueltos como el hierro o manganeso.

La oxidación consiste en agregar un oxidante, como aire o una sustancia química oxidante de mayor potencia como el permanganato de potasio, cloro u ozono al agua, para convertir una parte de las partículas disueltas en partículas suspendidas insolubles suspendidas que, posteriormente, pueden ser eliminadas mediante un proceso de filtración física.

La oxidación y la oxidación química se utilizan con frecuencia para convertir el hierro o manganeso en partículas suspendidas que pueden ser de ese modo eliminadas por filtración. El hierro en concentraciones bajas suele ser fácil de eliminar mediante oxidación agregando aire. Por el contrario, el manganeso no se oxida con tanta facilidad. El manganeso que no se elimina manchará de negro los aparatos y accesorios de la cocina y baño, e interferirá con las actividades de lavado de ropa. El manganeso dará también mal sabor a las bebidas preparadas y los alimentos cocinados con agua. Un filtro de arena verde de manganeso utiliza la oxidación y la filtración física para eliminar el manganeso. Se agrega permanganato de potasio, un oxidante, antes del filtro de arena verde, lo que provoca la oxidación del manganeso. El manganeso oxidado es filtrado

físicamente por la arena. La arena en el filtro ha recibido un tratamiento especial para atraer y adsorber el manganeso también. Los filtros de arena verde de manganeso también pueden eliminar concentraciones elevadas de hierro y tratar el sulfuro de hidrógeno, un compuesto que hace que el agua huelga a huevos podridos.

Los sistemas de tratamiento por oxidación se basan en ajustar con precisión la cantidad de oxidante agregado, teniendo en cuenta la composición química del agua, un tiempo de contacto suficiente y un mantenimiento adecuado del filtro. El ozono, un oxidante de gran potencia, se puede utilizar también para oxidar y descomponer materia orgánica, que puede ser así eliminada con mayor facilidad mediante un filtro de carbón activado granular. No obstante, por motivos de seguridad relacionados con el uso del ozono, este elemento no suele incorporarse a menudo en los microsistemas.

### 5.9 Intercambio iónico

Tal como se ha examinado en el Capítulo 4, los átomos o moléculas con carga eléctrica se denominan iones. El intercambio iónico es un proceso químico consistente en “intercambiar” un ión en el agua por otro. Normalmente los microsistemas utilizan el intercambio iónico para cambiar los iones de calcio y magnesio por iones de sodio o potasio. Al agua con altos niveles de calcio y magnesio se la llama a menudo “agua dura”. Aunque no represente un riesgo para la salud, el agua dura puede dañar los sistemas de distribución, interferir en los procesos de tratamiento del agua, dañar los calentadores de agua, lavaplatos y lavadoras, e impedir que el jabón forme espuma. Muchos trenes de tratamiento incluyen un proceso de intercambio iónico, llamado un suavizador de agua, para sustituir el calcio y magnesio con sodio o potasio.

El agua se pasa a un recipiente con un medio filtrante de resina (gránulos de plástico sintético especialmente diseñados). Las resinas cargadas negativamente (aniónicas) utilizadas para fines de suavización se ven atraídas por los iones de calcio y magnesio cargados positivamente (catiónicas). A medida que el agua pasa por la resina, los iones de dureza del calcio y magnesio son extraídos de la solución al adherirse a la resina, intercambiándose por los cationes más débiles de la resina que son liberados en el agua (principalmente sodio o potasio, dependiendo del sistema utilizado). Con el tiempo, la resina ha retenido tal cantidad de iones de calcio y magnesio causantes de dureza que su lecho se agota y ya no puede eliminar más iones. Ha llegado al límite de su capacidad filtrante para eliminar el calcio y magnesio y es necesario “regenerar” el lecho. La regeneración se logra empapando (saturando) el lecho de resina con una solución salina de cloruro de sodio (o cloruro de potasio) con una energía química lo suficientemente fuerte como para romper los enlaces del calcio y magnesio. La solución salina de regeneración “re-genera” la característica del medio para seguir intercambiando sodio o potasio por calcio y magnesio a medida que el agua pasa por el medio. Tras la etapa de regeneración, se desecha la solución de lavado a contracorriente del intercambio iónico en una corriente de aguas residuales antes de poner nuevamente en servicio el componente. Los suavizadores de agua están programados para regenerarse automáticamente. A fin de conservar agua, el proceso de regeneración debería ponerse en marcha en función de la cantidad total de agua tratada y no del tiempo.

#### Sabía que:

En un suavizador de agua, un (1) pie cúbico de una resina típica de alta capacidad puede eliminar 30.000 granos o aproximadamente 500.000 miligramos de dureza. Esto significa que si la dureza del agua es de 500 mg/L, un pie cúbico de resina permitiría suavizar 1.000 L de agua antes de que sea necesario regenerar la resina.

Los suavizadores de agua vienen con un depósito de salmuera en el que se guarda la solución salina utilizada durante el proceso de regeneración. Asegúrese de comprobar regularmente el nivel de sal del depósito y agregar sal en caso necesario. Asimismo, verifique periódicamente la dureza del agua tratada. Utilice un equipo de análisis sobre el terreno para determinar la dureza del agua o envíe una muestra del agua tratada a un laboratorio certificado.

**Fig 5.7** Un suavizador de agua



Aunque las ventajas que ofrece el ablandamiento del agua son motivo suficiente para utilizar un suavizador, es necesario controlar el proceso debido a sus efectos en el agua. La suavización por intercambio iónico agregará al agua sodio o potasio, productos que pueden causar problemas si están presentes en concentraciones excesivas en el agua distribuida. Por ejemplo, el sodio puede ser un problema para las personas que consumen el agua y siguen dietas bajas en sodio. El alto contenido de sodio del agua de lavado a contracorriente puede afectar también ciertos campos sépticos. En los suelos arcillosos, el sodio mezclada en el agua puede provocar la expansión de la arcilla, haciéndola impermeable al agua e inutilizándola como campo de drenaje séptico. Evidentemente, estos impactos dependen de la cantidad de ablandamiento necesario, y las cantidades de solución salina descargadas.

Aunque las unidades “suavizadoras” de intercambio iónico son un componente frecuente y familiar en un tren de tratamiento, el principio del intercambio iónico se puede aplicar para diseñar un componente que elimine otros contaminantes del agua como el hierro, manganeso, fluoruro, sulfato, nitrato y magnesio, o prácticamente

cualquier otro catión o anión específico que no contamine el lecho de resina. Cuando el intercambio iónico se utiliza para otros fines diferentes al ablandamiento del agua, puede hacer el agua agresiva. Los iones que contribuyen a la alcalinidad (la capacidad neutralizadora del agua de absorber ácidos sin que cambie el pH) también se pueden eliminar cuando se utilizan ciertos tipos de resinas. Cuando esto ocurre, el pH disminuirá y el agua se hace agresiva, oxidando los componentes y tuberías de metal del sistema.

**Para obtener más información sobre la filtración y el intercambio iónico, consulte el módulo de DVD sobre filtración y procesos de intercambio iónico para microsistemas.**

### 5.10 Desinfección

La desinfección es el proceso por el que se matan o inactivan microorganismos que causan enfermedades para que el agua se pueda consumir sin peligro. La desinfección no es lo mismo que la esterilización, un proceso poco práctico e innecesario para el agua potable.

Una vez que hayan entrado en su cuerpo, los microorganismos pueden hacer de él un lugar idóneo para reproducirse. Esta reproducción aumenta el número de microorganismos y, en el caso de patógenos que causan enfermedades en el agua, puede provocar problemas de salud en los seres humanos. Aunque los métodos de desinfección más tradicionales están diseñados para matar los patógenos en el agua, no es siempre un proceso sencillo. Otros procesos de desinfección inactivan los patógenos, esto es, aunque no los matan, impiden a los microorganismos reproducirse, reduciendo de ese modo las probabilidades de que los patógenos causen enfermedades. Existen numerosos procesos de desinfección diferentes, si bien el uso de productos químicos de cloración y de luz ultravioleta (UV) son dos de los procesos más comunes utilizados en microsistemas.

El tipo de desinfección utilizado en un microsistema dependerá de los microorganismos que se encuentren en el agua. Por ejemplo, algunos microorganismos son resistentes al cloro, incluido el protozoo *Cryptosporidium*. Consulte a un especialista en calidad del agua para saber cuál es el proceso de desinfección más adecuado para la fuente de agua.

La cloración se ha utilizado con eficacia durante casi un siglo para producir agua potable segura. El cloro se introdujo por primera vez como desinfectante en el tratamiento del agua a principios del siglo XX. Es fácil de aplicar, medir y controlar, y relativamente poco costoso.

Para que la cloración funcione se debe agregar al agua una dosis suficiente de cloro para matar los microorganismos. La concentración de cloro deseada debe ser lo suficientemente grande como para reaccionar con las sustancias consumidoras de cloro en el agua y mantenerse en una concentración con la suficiente potencia para matar los organismos causantes de enfermedades que se pretende eliminar con el proceso de desinfección. La dosis de cloración y el tiempo de contacto son dos factores críticos en la desinfección.

Es importante determinar la cantidad adecuada de cloro que debe agregarse. Si no se

añade suficiente cloro, o si el cloro no permanece en contacto con el agua durante suficiente tiempo, es posible que no mueran todos los microorganismos causantes de enfermedades sensibles al cloro. Si se agrega demasiado cloro al agua potable, ésta tendrá un fuerte sabor y olor a cloro. Un especialista en calidad del agua puede ayudarlo a determinar la cantidad de cloro correcta que debe agregar al sistema de tratamiento para su desinfección primaria.

Si se aplica correctamente, el proceso de desinfección primaria con cloro matará los organismos que se pretendía eliminar. Si se utiliza también el cloro para la desinfección secundaria, debería quedar una pequeña concentración residual de cloro en el agua que llega al consumidor. Este cloro residual se llama cloro residual libre y ayuda a proteger el agua distribuida impidiendo que los organismos microbiológicos vuelvan a crecer. Esto ofrece una ventaja operativa porque ayuda a proteger el agua distribuida y también permite a los operadores hacer un análisis del cloro residual libre del agua de grifo para asegurar que se puede consumir sin peligro.

En lugar del cloro, en ocasiones se utiliza la cloramina (cloro y amoníaco) como desinfectante secundario. En ese caso, en lugar del cloro residual libre habrá cloro residual total.

Aunque existen diferentes modos de clorar el agua, el más habitual consiste en agregar al agua una dosis específica de cloro durante un tiempo de contacto suficiente. El agua tratada es analizada posteriormente para determinar la concentración de cloro residual libre inmediatamente después del punto de cloración. Si se utiliza cloro o cloramina para la desinfección secundaria, se analizan también las concentraciones de cloro residual libre o total en puntos del conjunto de tuberías (sistema de distribución) en los que se dispone de agua, como grifos y bebederos. La concentración de desinfectante residual en el agua potable no debe ser inferior a 0,2 mg/L de cloro libre (si se utiliza cloro) ó 1,0 mg/L de cloro total (si se utiliza cloramina). Aunque ambos parámetros son importantes a la hora de determinar si el proceso funciona correctamente, el cloro residual libre es el valor más importante para indicar que el agua ha sido desinfectada inicialmente.

Si el agua contiene amoníaco de origen natural (a veces está presente en las aguas subterráneas), se necesita una dosis de cloro suficiente para consumir todo el amoníaco a fin de obtener el cloro residual libre deseado. Si este proceso no se realiza de forma correcta, es posible que el agua no esté desinfectada de forma segura.

El cloro reacciona con la materia orgánica presente de forma natural en el agua como la procedente de hojas en descomposición. Esta reacción química forma un grupo de sustancias químicas que se llaman subproductos clorados de la desinfección o CDBP por su sigla en inglés. Los subproductos más frecuentes de este tipo son los trihalometanos, o THM, y los ácidos haloacéticos, o AHA. Juntas, las concentraciones de THMS y AHA se pueden utilizar como indicadores de la carga total de todos los CDBP que se pueden encontrar en el suministro de agua potable. Varios estudios han establecido un vínculo entre la exposición prolongada a altas concentraciones de subproductos clorados de la desinfección y un mayor riesgo de cáncer. En regla general, los ríos y otras aguas superficiales contienen una mayor cantidad de materia orgánica que los pozos.

Aplicar un tratamiento previo al agua de origen antes de la cloración permite reducir la materia orgánica natural que reacciona con el cloro y ayudará a reducir el nivel de

subproductos clorados de la desinfección presentes en el agua potable. Los procesos de tratamiento como la clarificación y la filtración que tienen lugar antes de la cloración ayudarán a reducir la formación de subproductos clorados de la desinfección. Si los subproductos clorados de la desinfección como los THM y AHA son un problema en su sistema de agua potable, consulte a un especialista en calidad del agua y haga que analicen su agua potable para detectar los subproductos clorados de la desinfección.

### 5.11 Tipos de cloro

El cloro se puede presentar en tres formas: gaseosa, líquida y sólida. El cloro utilizado en los microsistemas suele ser en forma líquida. Independientemente de la forma de cloro utilizada, sólo debe utilizarse como desinfectante del agua potable el cloro que cumpla con la norma NSF/ANSI Standard 60.

El cloro gaseoso, aunque es el menos costoso de los tres, no es una forma habitual de cloro utilizada en los microsistemas debido a los riesgos que implica. El cloro gaseoso puede ser extremadamente peligroso si no se utiliza adecuadamente o si se produce una fuga causada por un accidente. El gas de cloro, que es más pesado que el aire, se acumulará en la parte inferior de una sala y puede ser mortal cuando se inhala tan sólo unas cuantas veces. Si en su sistema se utiliza el gas de cloro para la desinfección, debe disponer de una sala para uso exclusivo del cloro debidamente ventilada, cilindros de cloro protegidos y equipos de emergencia en caso de que se produzca una fuga.

El cloro en forma líquida y sólida es mucho menos peligroso que el cloro gaseoso, aunque sigue siendo necesario tomar las debidas precauciones. El cloro líquido suele presentarse en concentraciones de 5–15 % de cloro por volumen. Una concentración de cloro típica de un distribuidor de productos químicos que abastece a un microsistema es del 5–12 %. Uno de los inconvenientes de utilizar cloro líquido es que se trata principalmente de agua, por lo que puede congelarse en invierno si no se almacena en condiciones adecuadas. Por otra parte, el cloro líquido perderá su eficacia si no se utiliza durante largos períodos de tiempo, y puede formar subproductos no deseados. Para minimizar estos efectos, debe seguir las recomendaciones del fabricante relativas al almacenamiento del producto. Una forma de cloro líquido que probablemente conozca es el blanqueador de uso doméstico, aunque la mayoría de este tipo de blanqueadores sólo contiene 5 ó 6 % de cloro. De hecho, algunas formas de este producto químico de uso doméstico han sido aprobadas para su uso en el agua potable (siempre y cuando se apliquen correctamente), por lo que pueden ser útiles en casos en los que no se disponga de otros desinfectantes. Asegúrese, sin embargo, de utilizar un blanqueador de uso doméstico sin aroma y que no haya caducado.

El cloro sólido se utiliza habitualmente para piscinas, aunque también se emplea en ocasiones en microsistemas, siempre y cuando en el envase y etiqueta se indique que se puede utilizar en fuentes de agua potable. Esta forma de cloro se presenta en concentraciones de 50-70 % por peso y debe ser mezclado con agua antes de ser utilizado como desinfectante. Precisamente debido al hecho de que debe mezclarse primero con agua, los sistemas en los que se utiliza cloro sólido deben contar con equipos adicionales. Uno de los problemas asociados a menudo con el uso del cloro sólido es la obstrucción de los tubos y tuberías durante la fase inicial de disolución.

Tanto el cloro líquido como sólido (evidentemente después que se haya disuelto en el agua) se agregan al suministro de agua mediante una bomba dosificadora de productos

#### Sabía que:

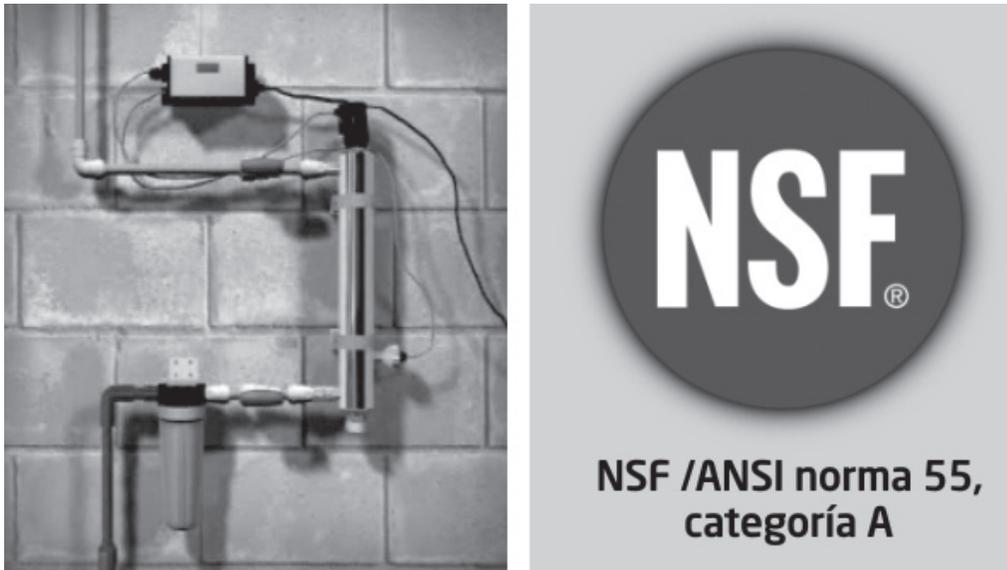
Con un suavizador de agua completamente automático de cinco ciclos se pueden eliminar fácilmente hasta 3 mg/L de hierro.

químicos. Estas bombas deben ser calibradas para un caudal particular, de modo que se agregue exactamente la cantidad adecuada de cloro necesaria para desinfectar el agua. En algunos casos, aunque no siempre, este proceso de calibración puede ser automatizado. Para determinar la cantidad de cloro adecuada es necesario tener ciertos conocimientos básicos de cómo funciona el cloro para desinfectar el agua y controlar la cantidad de cloro residual libre presente en el sistema después del ciclo de tratamiento. Cualquier sistema en el que se utilice el proceso de desinfección con cloro debe contar con procedimientos de análisis que permitan supervisar este parámetro. Para obtener más información sobre el cloro residual, consulte la sección 6.2 de este manual.

### 5.12 Luz ultravioleta

Muchos sistemas, sobre todo los que utilizan aguas subterráneas, están optando por una alternativa de desinfección que no incluya el uso de productos químicos. El uso de la luz ultravioleta (UV) se ha convertido en los últimos años en un método de desinfección primaria sumamente popular, sobre todo para los microsistemas. La luz ultravioleta produce una radiación lo suficientemente potente como para inactivar las bacterias, virus y protozoos presentes en el agua alterando su material genético de modo que no puedan reproducirse en nuestros cuerpos. Al igual que ocurre con un sistema de cloración, la concentración (intensidad de la luz ultravioleta) y el tiempo de contacto son dos factores importantes. Este método de desinfección se basa en la generación de una dosis correcta de luz ultravioleta que debe permanecer en contacto con el organismo causante de enfermedades que se pretenden eliminar. Un pequeño sistema de luz ultravioleta necesita poca energía para funcionar y puede ser altamente eficiente y eficaz para tratar el agua, siempre y cuando el agua esté lo suficientemente limpia (esto es, que haya sido tratada adecuadamente antes de llegar a la unidad de luz ultravioleta). El agua debe tener un bajo contenido de sólidos en suspensión, partículas de turbidez, calcio, magnesio, hierro, manganeso, materia orgánica y color. La luz debe llegar hasta el microorganismo a fin de poder desactivarlo y la presencia de partículas en el agua que dificulten el paso de la luz reducirá la eficacia del sistema ultravioleta. Un parámetro conocido como transmitancia ultravioleta, que mide la capacidad de la luz ultravioleta de pasar a través del agua, ayudará a determinar si se requiere hacer otro tratamiento previo antes de que el agua llegue al dispositivo de luz ultravioleta.

Un sistema de desinfección con luz ultravioleta debe cumplir la norma NSF/ANSI Standard 55 para los sistemas de Clase A y estar equipado con indicadores luminosos o alarmas que avisen cuando las dosis de luz ultravioleta descienden a niveles demasiado bajos. Si se activa el indicador luminoso o la alarma de su sistema de luz ultravioleta, significa que no se puede garantizar que el agua sea apta para el consumo hasta que se haya efectuado un mantenimiento adecuado del sistema.

**Fig 5.8** Un sistema típico de desinfección con luz ultravioleta

Como ocurre con cualquier parte de un sistema de tratamiento, el proceso de desinfección con luz ultravioleta conlleva una serie de tareas de mantenimiento. El agua pasa a través de un recipiente con una funda de cuarzo que protege la bombilla UV en el centro del dispositivo. Es necesario limpiar periódicamente la funda de cuarzo e incluso, con el tiempo, es posible que deba ser cambiada. La bombilla UV perderá su intensidad con el tiempo y debe ser sustituida periódicamente. El sistema de luz ultravioleta debe estar equipado con sistemas de alerta (indicador luminoso y/o alarma) que indiquen si la dosis es demasiado baja, lo cual significará que se necesita realizar un mantenimiento de la unidad para poder seguir suministrando agua apta para el consumo. Uno de los inconvenientes de los sistemas de luz ultravioleta es la imposibilidad de medir el contenido residual de un tratamiento, como en los sistemas de cloración. La única forma de saber si el proceso de desinfección está funcionando es analizando los contaminantes microbiológicos presentes en el agua potable tratada.

**Para obtener más información sobre la desinfección y los sistemas de luz UV, consulte los módulos del DVD sobre**

los procesos de desinfección para microsistemas y el uso de rayos ultravioleta y osmosis inversa para microsistemas.

### 5.13 Diseño de un sistema de tratamiento

El objetivo de este curso es ofrecer información introductoria sobre la calidad del agua con relación a los microsistemas. No pretende proporcionar información científica exhaustiva sobre el diseño de trenes de tratamiento. No obstante, a lo largo de este capítulo se ha presentado información sobre los distintos procesos de tratamiento y se han indicado los contaminantes que son capaces de eliminar. Se ha prestado atención al proceso de tratamiento, por lo que esta sección presenta esa misma información desde la perspectiva de los contaminantes presentes en el agua y, de forma general, los procesos de tratamiento que se podrían utilizar para eliminar dichos contaminantes.

**Sabía que:**

No se tiene conocimiento de efectos benéficos ni dañinos para la salud asociados con la ingestión de agua desmineralizada o destilada.

Cada tren de tratamiento está diseñado para responder a las exigencias específicas del agua de la fuente. Lo más probable es que haya sido diseñado para eliminar inicialmente las grandes partículas en suspensión y, en la etapa siguiente, las partículas suspendidas más finas. Posteriormente serán eliminadas las partículas en suspensión y contaminantes disueltos restantes. La última etapa en el tren de tratamiento es la desinfección del agua.

El tren de tratamiento puede empezar con un proceso de clarificación, que incluirá alguna combinación de un depósito de sedimentación, adición de coagulante y mezcla para eliminar las partículas en suspensión de mayor tamaño. Podría seguir un filtro de arena o un filtro multimedios. Y posteriormente, podría incluir un filtro de cartucho más fino. Dependiendo de los contaminantes disueltos, el tren podría incluir una unidad de intercambio iónico o un filtro de membrana, como un filtro de osmosis inversa. En algún momento del proceso de filtración, se podría utilizar la oxidación para extraer las partículas disueltas del agua de modo que puedan ser filtradas y eliminadas. Asimismo, se podría utilizar un filtro de carbón activado granular para deshacerse de la materia orgánica disuelta y los problemas de color, sabor y olor. Una vez que el agua haya sido suficientemente filtrada, será desinfectada, normalmente mediante cloración (sobre todo si existe un sistema de distribución) o con luz ultravioleta.

Esta descripción corresponde a un tren de tratamiento clásico. No obstante, no todos los trenes de tratamiento incluirán todos estos componentes. Por otra parte, es posible que esos componentes no se presenten en el orden indicado más arriba. Cada tren de tratamiento está diseñado para responder específicamente a las características del agua de la fuente.

**Cuadro 5.1** Tecnologías de tratamiento para contaminantes típicos

Tecnología de tratamiento	Contaminantes que se desea eliminar	Condiciones y requisitos especiales
Clarificación	Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exige la instalación de un depósito de sedimentación</li> <li>- Se pueden agregar coagulantes para facilitar la sedimentación</li> </ul>
Filtros de arena y filtros multimedios	Partículas de distintos tamaños (dependiendo del tratamiento previo), metales oxidados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existen filtros de arena rápidos y lentos</li> <li>- Los filtros lentos de arena ocupan mucho espacio</li> <li>- Existen medios diferentes para los distintos contaminantes</li> </ul>
Filtros de carbón activado - Filtros de carbón activado granular	Eliminan sabores, olores, numerosos contaminantes orgánicos volátiles y el plomo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las partículas de carbón tienen una amplia superficie para absorber los contaminantes</li> <li>- Transcurrido cierto tiempo es necesario sustituir o regenerar el carbón</li> </ul>

Tecnología de tratamiento	Contaminantes que se desea eliminar	Condiciones y requisitos especiales
Filtros de cartucho	Eliminan partículas de distintos tamaños	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existen filtros plisados o de profundidad</li> <li>- Deben ser reemplazados periódicamente</li> </ul>
Intercambio iónico (suavizador de agua)	Calcio, magnesio, concentraciones bajas de hierro (<2 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es necesario agregar sodio o potasio para regenerar los lechos de resina</li> </ul>
Filtración por membrana - Osmosis inversa	Amplia gama de sustancias inorgánicas (TSD, dureza, arsénico, sulfatos, manganeso, hierro, etc.), microorganismos (protozoos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exige un tratamiento previo intenso</li> <li>- Produce grandes cantidades de agua desechada o residual, cerca del 50 % del agua tratada</li> <li>- Alto porcentaje de eliminación de un gran número de contaminantes presentes en el agua</li> </ul>
Desinfección con luz ultravioleta	Microorganismos (bacterias, virus, protozoos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Método de desinfección que no utiliza productos químicos</li> <li>- Se necesita un tratamiento previo</li> <li>- Solamente para desinfección primaria, no para desinfección secundaria</li> </ul>
Cloración	Microorganismos (bacterias, virus), metales oxidados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se necesita un tratamiento previo adecuado</li> <li>- Es necesario controlar constantemente el cloro residual libre</li> <li>- Se puede utilizar tanto para la desinfección primaria como secundaria</li> </ul>

La fuente del agua bruta influirá en el diseño del tren de tratamiento. El agua procedente de pozos profundos instalados correctamente y que son operados conforme a caudales previstos, ya ha sido filtrada por el acuífero, por lo que normalmente no necesita tanta filtración como el agua superficial. Así pues, un sistema de tratamiento de agua subterránea puede incluir menos filtración que un sistema de tratamiento de agua superficial.

El agua subterránea permanece mucho tiempo en contacto con minerales naturales, por lo que puede ser bastante dura y contener minerales disueltos como hierro, manganeso e incluso arsénico. Estos elementos están menos presentes en el agua superficial, por lo que un sistema de agua subterránea puede incluir la adición de oxidantes con filtración y una unidad de intercambio iónico, mientras que estos componentes son menos frecuentes en los sistemas de tratamiento de agua superficial.

Independientemente de su fuente, el agua siempre debe ser desinfectada. Tanto el agua superficial como subterránea contienen microorganismos que deben ser matados o inactivados antes de que el agua sea apta para el consumo.

Además de controlar la eficacia del proceso de desinfección, también es importante supervisar periódicamente la calidad del agua de la fuente. Un especialista cualificado debería evaluar los análisis del agua de la fuente para determinar si deben realizarse ajustes en el diseño y funcionamiento del tren de tratamiento del agua.

#### 5.14 Funcionamiento y mantenimiento de un sistema de tratamiento

Su sistema ha sido diseñado por un especialista en tratamiento del agua, pero probablemente sea usted quien deba ocuparse de su funcionamiento y mantenimiento. Lo primero que debe hacer es familiarizarse con todos los equipos y procesos del tren de tratamiento. Tómese tiempo para consultar las recomendaciones del fabricante relativas al funcionamiento y mantenimiento de su sistema, y la capacidad de cada uno de sus componentes. Utilice el caudalímetro para comprobar periódicamente el caudal y asegúrese de que su sistema no trate más agua de la su capacidad especificada.

Si tiene preguntas, consulte a su especialista en calidad del agua para que le aclare sus dudas. No dude nunca en recurrir a un profesional si una tarea de funcionamiento o mantenimiento excede sus competencias.

##### Sabía que:

Los requisitos mínimos de tratamiento para los sistemas de aguas subterráneas es la desinfección que garantice una reducción de los virus de más del 99,99 por ciento (4 log) antes o en el momento de su primer consumo.

Una de las cualidades de un buen operador es saber cuándo se necesita la ayuda de otros. Puede que tenga bajo su responsabilidad la salud de otras personas, por lo que el buen funcionamiento y mantenimiento de sus sistemas de tratamiento es una labor que no debe tomar a la ligera.

Es necesario limpiar periódicamente los filtros de toma de agua de los sistemas de agua superficial. Se trata de una tarea sencilla pero que podría llevar bastante tiempo. Además, en invierno, es posible que el agua que rodea la toma se congele. Puede ser necesario evitar manualmente que se forme hielo en esta área, ya que podría obstruir la toma de agua.

Los sistemas de inyección de productos químicos deben dosificar la cantidad correcta de productos a agregar. Si la calidad del agua cambia, será necesario ajustar las dosis. Los tiempos de contacto en las cámaras de mezcla o depósitos de contacto también deben ser correctos y puede ser necesario ajustar los caudales si se cambia la dosificación.

Los filtros de arena y los filtros multimédios deben ser limpiados regularmente a contracorriente con agua (y a veces con aire). Cuando el filtro haya atrapado suficientes partículas, es necesario limpiarlo a contracorriente para deshacerse de ellas y restablecer la capacidad del filtro. El agua sucia del retrolavado se eliminará. El lavado a contracorriente del filtro debe efectuarse antes de que se obstruya el filtro o se cree un canal interno que permita al agua contaminada introducirse en el proceso de tratamiento. El lavado a contracorriente del filtro se debe realizar correctamente para no dañar el medio o medios del filtro cuando es levantado y limpiado por el agua de retrolavado.

En los filtros de carbón activado granular es necesario sustituir el medio filtrante cuando pierda su capacidad de eliminar los compuestos orgánicos que se desea eliminar. Los filtros de carbón activado biológico constituyen una excepción puesto que se regeneran constantemente gracias a la actividad biológica del medio de carbón; a pesar de ello,

incluso estos filtros deben ser lavados con agua regularmente a contracorriente y puede ser necesario limpiarlos de forma intermitente o incluso sustituirlos.

Los filtros de cartucho exigen también cierto mantenimiento. Es posible que los cartuchos plisados y cartuchos de superficie puedan ser lavados a contracorriente y puestos nuevamente en servicio, por lo que deben seguirse de cerca las recomendaciones del fabricante. Los cartuchos de profundidad deberán ser sustituidos cuando se agote su vida útil. Consulte el manual de uso incluido en la unidad filtrante o póngase en contacto con un especialista en calidad del agua para obtener más información.

Es posible que los filtros de membrana puedan ser limpiados utilizando procedimientos de limpieza en sitio (normalmente mediante lavados químicos con ácidos y bases) para controlar o reducir el alcance de obstrucción de la membrana por suciedad inorgánica y orgánica, y organismos biológicos que secretan desechos que ensucian las membranas. A menudo, se pueden enviar las membranas al distribuidor para que las limpie.

Con el tiempo, todos los filtros llegan a un punto en que están demasiado obstruidos con contaminantes como para dejar pasar el agua, o se deterioran hasta tal punto que dejan pasar tanto el agua como los contaminantes. En estos casos es necesario reconocer el problema y reparar el filtro o simplemente sustituirlo. Muchos fabricantes ofrecerán recomendaciones acerca de la sustitución de las unidades de filtración.

En los filtros de intercambio iónico es necesario utilizar una solución salina de regeneración a intervalos adecuados. El ciclo de regeneración suele estar controlado automáticamente basándose en parámetros temporales o en una característica física del proceso de tratamiento como el caudal. Es necesario vigilar el nivel de solución salina del depósito de salmuera y agregar cuando sea necesario regenerante como sodio o potasio (por lo general en forma sólida, esto es, sal).

En los sistemas de desinfección con cloro se debe agregar regularmente cloro, además de hacer ajustes para asegurar una dosificación correcta y controlar el cloro residual libre. Asimismo, estos sistemas deben ser limpiados periódicamente, puesto que el cloro es un oxidante y causará cierta acumulación en las partes metálicas.

En los sistemas de desinfección con luz ultravioleta es necesario limpiar regularmente la funda de cuarzo y también se debe sustituir cada cierto tiempo la bombilla UV. Por otra parte, este tipo de proceso de desinfección exige también un muestreo y análisis programados para detectar la presencia de contaminantes microbiológicos.

Debe mantener un registro de todas sus actividades de mantenimiento para todos los componentes del tratamiento. Asimismo, asegúrese de seguir los programas de mantenimiento recomendados por el fabricante, y haga los cambios necesarios para responder a las características del agua sometida al tratamiento.

**Para obtener más información sobre el funcionamiento y mantenimiento de los componentes del sistema de tratamiento, consulte los módulos del DVD sobre**

el uso de rayos ultravioletas y osmosis inversa para microsistemas, los procesos de filtración e intercambio iónico para microsistemas, y los procesos de desinfección para microsistemas.



## 6 Sistemas de distribución

### 6.1 Introducción

Una vez que el agua ha pasado por el tren de tratamiento y se han eliminado o reducido los contaminantes a niveles aceptables, y que se ha desinfectado, el agua es apta para el consumo y se puede utilizar también sin peligro para otros fines como lavar y preparar alimentos. El agua tiene que desplazarse ahora desde el lugar en el que fue tratada hasta el lugar en el que se utilizará. El conjunto de tuberías y válvulas que controlan y llevan el agua se conoce como sistema de distribución. Puede tratarse solamente de las tuberías del edificio o, si el sistema de tratamiento se encuentra en lugar separado, también puede incluir las tuberías subterráneas que conectan el sistema de tratamiento con el edificio. Es importante seguir procedimientos adecuados de funcionamiento y mantenimiento a fin de evitar que el agua potable se contamine durante su desplazamiento por el sistema de distribución desde el lugar de tratamiento hasta el punto de uso. Si bien cada microsistema tiene ciertas características únicas, este capítulo explica algunos de los elementos comunes que deben tenerse en cuenta para el funcionamiento y mantenimiento correctos de un sistema de distribución.

### 6.2 Cloro residual

El cloro es el undécimo elemento más abundante en la naturaleza. Quizás la forma más conocida es la sal (cloruro de sodio) presente de forma natural en el agua de mar y los depósitos de sal en el suelo. Como desinfectante del agua potable, el cloro desempeña un papel primordial protegiendo a las personas de enfermedades transmitidas por el agua.

En nuestro mundo actual, el cloro tiene numerosos usos y aplicaciones. En el ámbito de la calidad del agua y los microsistemas, el cloro se utiliza particularmente para desinfectar el agua y asegurar que siga siendo potable. El uso del cloro como agente desinfectante se remonta a más de 150 años. Hoy día, la cloración desempeña un papel crítico en la protección de los suministros de agua potable frente a enfermedades infecciosas transmitidas por el agua y sigue siendo utilizada de forma generalizada por las plantas municipales de tratamiento del agua y microsistemas para desinfectar el agua. Existen dos razones para utilizar el cloro en el tren de tratamiento. La primera de ellas es para desinfectar el agua, y se conoce como desinfección primaria. La segunda razón por la que se utiliza la cloración es para asegurar que quede en el agua, una vez desinfectada, una pequeña concentración de cloro a fin de garantizar que siga siendo potable mientras se desplaza por el sistema de distribución hasta llegar al usuario final; este proceso se conoce como desinfección secundaria.

La adición de cloro es un proceso químico de gran complejidad. Cuando se utiliza el cloro como desinfectante primario y se agrega al agua, es consumido en primer lugar por los contaminantes orgánicos que puedan estar presentes. Este fenómeno se denomina demanda de cloro. Cuantos más contaminantes contenga el agua, mayor será la demanda de cloro y, por consiguiente, más cloro deberá agregarse para responder a esa demanda. Dicho de otro modo, cuanto más limpia esté el agua al llegar a la etapa de desinfección, menos cloro se necesitará para efectuar la desinfección.

Una vez que se haya satisfecho la demanda, si se agrega cloro al agua como desinfectante secundario, empezará a formar lo que se conoce como cloro residual libre. El cloro residual libre es lo que hace que el agua se mantenga desinfectada durante toda su

trayectoria hasta el grifo, incluso si se almacena en un tanque o cisterna durante un cierto período de tiempo. No obstante, este tipo de cloro también disminuirá a medida que pase el tiempo. Es importante conocer la cantidad de agua diaria que se utiliza en el sistema y agregar (dosificar) cloro suficiente para que el agua mantenga un cierto nivel de cloro residual libre hasta su llegada al grifo. Si el nivel de cloro residual llega a cero, existe el riesgo de que el agua no pueda consumirse de forma segura desde el punto de vista microbiológico.

Después de la desinfección primaria, si el agua no se utiliza inmediatamente o debe desplazarse por un sistema de distribución, se debe agregar un desinfectante secundario tal como se ha descrito más arriba. Por lo general, esta desinfección secundaria se logra con una dosificación de cloro. No obstante, en lugar del cloro, en ocasiones se utiliza la cloramina (cloro y amoníaco) como desinfectante secundario. En este caso, en lugar de medir el cloro residual, tal como se hace si se utiliza cloro, se medirá el cloro residual total para asegurar una protección adecuada. Las cloraminas se utilizan habitualmente en sistemas de tratamiento municipal o en microsistemas con grandes sistemas de distribución.

El cloro libre es la cantidad de todas las formas de cloro presentes en el agua (por ej.: gas ( $Cl_2$ ), ácido hipocloroso ( $HOCl$ ) y/o hipoclorito ( $OCl^-$ )) que no está combinado con amoníaco u otros compuestos. El cloro combinado es fruto de la reacción del cloro libre con el amoníaco (es decir, las cloraminas). Por su parte, el cloro total es la suma del cloro combinado y el cloro libre. En otras palabras:

Cloro total = cloro libre + cloro combinado

La concentración de desinfectante residual en el agua potable no debe ser inferior a 0,2 mg/L de cloro libre si se utiliza cloro ó 1,0 mg/L de cloro total si se utiliza cloramina.

Existen distintos métodos para medir el cloro. Por lo general, si la demanda de cloro para el agua es 2,0 mg/L y agrega una dosis de cloro de 5,0 mg/L, el cloro residual libre inicial será de 3,0 mg/L. Evidentemente, ésta es solamente la teoría; en la realidad, el proceso es mucho más complejo y será necesario realizar ciertos análisis para asegurar que el agua tiene un nivel adecuado de cloro residual.

El análisis más común es el método de comparación de colores con DPD (dietil-parafenilendiamina). Se trata del método más rápido y sencillo para medir el cloro residual. El kit utilizado especificará si es para medir el cloro residual libre o el cloro total, por lo que debe leer las instrucciones cuidadosamente. Para realizar este análisis, se agrega un reactivo a una muestra de agua en una botella o frasco pequeño. Esta sustancia provocará una reacción al entrar en contacto con el cloro de tal modo que el agua adquirirá un color rosa o rojo. La intensidad del color se compara con los colores estándar incluidos en un gráfico y que reflejan un nivel de cloro conocido. Cuando más intenso sea el color, mayor será la concentración de cloro en el agua. Si el kit se utiliza para medir el cloro total, asegúrese de leer con atención y cuidado las instrucciones para evitar lecturas falsas o incorrectas.

**Fig 6.1** Un kit de comparación de colores con DPD

Una variación del método de DPD utiliza un dispositivo llamado colorímetro para medir directamente la intensidad del color de la muestra. Este dispositivo hace pasar una luz a través de la muestra de agua coloreada y determina la cantidad y tipo de luz que no puede pasar, lo que permite medir directamente el color de la muestra sin necesidad de compararlo visualmente con la escala de colores provista.

Otra técnica, más sofisticada, para medir los niveles de cloro es el método amperométrico. Este método utiliza un dispositivo de medición electrónico con una sonda que contiene una solución de cloruro potásico (KCl). A medida que el agua se desplaza por la sonda, el cloro reacciona al contacto con el cloruro de potasio y crea una corriente eléctrica. La sonda mide esta corriente para determinar la concentración de cloro presente en el agua.

Tal como se mencionó en el Capítulo 5, el cloro reacciona con la materia orgánica presente de forma natural como las hojas en descomposición y forma grupos de sustancias químicas conocidos como subproductos clorados de la desinfección o CDBP. Los subproductos más frecuentes de este tipo son los trihalometanos, o THM, y los ácidos haloacéticos, o AHA. Varios estudios han establecido un vínculo entre la exposición prolongada a altas concentraciones de subproductos de la cloración y un mayor riesgo de cáncer. Por regla general, los ríos y otras aguas superficiales contienen una mayor cantidad de materia orgánica que los pozos.

Filtrar el agua de la fuente antes de la cloración permite reducir la materia orgánica natural que reacciona con el cloro y ayudará a reducir el nivel de subproductos clorados de la desinfección presentes en el agua potable. Si los subproductos clorados de la desinfección como los THM son un problema en su sistema de agua potable, consulte a un especialista en calidad del agua y haga que analicen su agua potable para detectar subproductos de la desinfección.

#### Sabía que:

Es sumamente importante desinfectar todas las tuberías principales de agua nuevas o que hayan sido reparadas. La desinfección puede realizarse siguiendo las normas de desinfección para tuberías principales (Standard for Disinfecting Water Mains) de la American Water Works Association (AWWA).

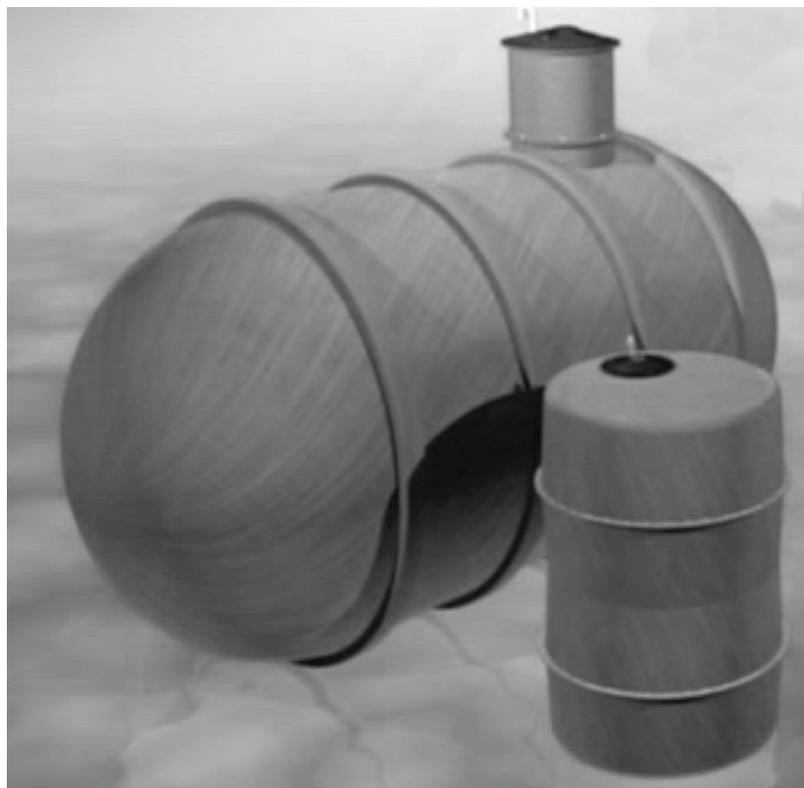
**Para obtener más información sobre la desinfección, consulte el módulo de DVD sobre procesos de desinfección para microsistemas.**

### 6.3 Tanques de almacenamiento de agua potable

En las comunidades remotas o rurales (por ej.: lugares pequeños aislados, Primeras Naciones) se utilizan con frecuencia tanques de almacenamiento de agua potable para almacenar el agua tratada cuando no existe una red de municipal de agua o fuentes de abastecimiento in situ como pozos. Los tanques de almacenamiento se utilizan para almacenar el agua tratada que es suministrada mediante camiones cisterna o, en algunos casos, tuberías rurales de baja presión y diámetro reducido. Es posible encontrar también tanques de almacenamiento en un microsistema que trata el agua a un ritmo inferior al de las necesidades de suministro del sistema para satisfacer la demanda. Los tanques de almacenamiento de agua potable se utilizan también en barcos para abastecer de agua potable a los pasajeros y la tripulación. En ese último caso, se almacena en los tanques el agua potable producida a bordo o suministrada en grandes cantidades mientras el barco se encuentra en un puerto.

Existen diversos tipos de tanques de almacenamiento de agua potable, y de tamaños diferentes. El tipo y tamaño de tanque que elija dependerá de varios factores, entre otros, su emplazamiento (en tierra, a bordo de un barco), condiciones climáticas (tanques para almacenar agua en el interior o exterior) y condiciones topográficas (en la superficie, enterrado). Todos los tanques de almacenamiento de agua potable deben estar contruidos con material que cumpla los requisitos de la norma NSF/ANSI Standard 61, ser herméticos, tener una escotilla de acceso provista de una tapa hermética, un tubo de llenado y un tubo de respiradero. Los tanques de almacenamiento deben ser instalados siguiendo las instrucciones del fabricante. Deben respetarse también todos los códigos, normativas y leyes pertinentes (en materia de protección de la salud pública, construcción, sistemas de tuberías, factores medioambientales, etc.).

**Fig 6.2** Tanques de almacenamiento de agua potable



En el caso de los tanques de almacenamiento enterrados, es especialmente importante asegurar que la escotilla de acceso no pueda sufrir daños. Uno de los métodos para alargar su vida útil es instalar algún tipo de protección de barrera en torno a la escotilla de acceso al tanque de almacenamiento para evitar que los vehículos puedan dañarla. Todos los tanques de almacenamiento deben estar cerrados y protegidos, debiendo autorizarse solamente el acceso a ellos a las personas cualificadas como el personal encargado de abastecer el agua.

Todas las tuberías y empalmes que conectan el tanque de almacenamiento con el punto de uso del agua deben estar contruidos de conformidad con el Código Nacional de Plomería de Canadá. La tubería de distribución para la salida de agua del tanque debe tener un puerto o válvula de muestreo que permita monitorear la calidad del agua.

Es importante asegurar el funcionamiento y mantenimiento adecuados de los tanques de almacenamiento para garantizar el suministro continuo de agua potable segura. Los tanques de almacenamiento sólo deben almacenar agua que cumpla con las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá, y que haya sido desinfectada con cloro. Tras el almacenamiento debe mantenerse una cantidad suficiente de cloro residual para garantizar la seguridad microbiológica. Si no se utiliza el tanque durante un período de tiempo en el año, puede ser necesario vaciarlo y enjuagarlo con agua clorada antes de ponerlo nuevamente en funcionamiento.

Es necesario inspeccionar, limpiar, desinfectar y reparar regularmente el tanque de almacenamiento de agua potable para prevenir riesgos graves para la salud y seguridad. Los tanques son considerados espacios confinados y son peligrosos porque son áreas cerradas y de acceso limitado. Por esa razón, siempre que se entra en un tanque de almacenamiento de agua se deben seguir ciertos procedimientos de seguridad. Siga los procedimientos de funcionamiento y mantenimiento proporcionados por su especialista en calidad del agua y por el fabricante.

En el caso de los tanques presurizados, existe siempre la posibilidad de exposición al aire, lo que podría favorecer la proliferación microbiológica en el interior del tanque. Una de las prácticas recomendadas para evitar la contaminación microbiana es efectuar una limpieza a fondo utilizando una solución fuerte de cloro (cloración de choque). Debe inspeccionar el tanque regularmente. Los respiraderos deben estar equipados con rejillas para impedir la entrada al tanque de animales como pájaros y roedores. Además, deben estar limpios ya que un respiradero bloqueado puede crear un vacío dentro del tanque por el uso normal del agua que podría dañarlo. Mire dentro del tanque para asegurarse de que no haya nada flotando en la superficie del agua. Debería poder ver el fondo del tanque, que debe parecer limpio. Asegúrese de que el tanque no esté oxidado y que no tenga agujeros ni grietas. Recuerde, un tanque que tenga fugas puede ser una fuente de contaminación del agua. Siga todos los procedimientos normalizados de trabajo que se aplican al trabajo cerca o dentro de espacios confinados. Se considera también una buena práctica mantener registros relativos al funcionamiento del tanque de almacenamiento, su condición y el monitoreo regular de la calidad del agua.

**Para obtener más información sobre tanques de almacenamiento, consulte el módulo del DVD sobre tanques de almacenamiento de agua potable.**

#### 6.4 Válvulas y tuberías

Un microsistema puede ser bastante sencillo o puede ser también un complejo sistema de tuberías y válvulas. Saber cómo funciona el sistema en este último caso puede ser todo un reto. Es importante dedicar el tiempo necesario para aprender para qué sirve cada una de las válvulas del sistema y cómo funciona, y manipularla (cerrarla y abrirla) periódicamente para asegurarse de que funcionará cuando sea necesario. Tome nota de cualquier cambio que observe en el estado de las tuberías y válvulas del sistema. Si una válvula se corroe o empieza a gotear, no espere hasta que se estropee por completo antes de repararla o cambiarla. Se trata de una tarea que puede hacer usted mismo o que puede encargar a un plomero profesional. Con las tuberías del microsistema ocurre lo mismo. Las tuberías no duran toda la vida y detectar una tubería corroída antes de que se rompa puede ahorrarle mucho tiempo, dinero y dolores de cabeza. Todo el trabajo de plomería debe efectuarse de conformidad con el Código Nacional de Plomería de Canadá.

Cuando se sustituya una parte de una tubería o una válvula porque se haya roto o en el marco de las actividades de mantenimiento periódico, es importante entender lo que debe hacerse antes de volver a poner en funcionamiento el sistema. No se puede asumir que los componentes estarán limpios por el hecho de que sean nuevos. Después de cambiar un componente del sistema, sobre todo en el caso de una avería imprevista o cualquier sustitución de tuberías subterráneas, es necesario limpiar y desinfectar el sistema. Si el tramo de la tubería en la que se realizan los trabajos estaba aislada por válvulas, sólo será necesario desinfectar ese tramo. Si no fue posible aislar el tramo, deberá desinfectarse todo el sistema. Por lo general, este proceso incluye primeramente limpiar el sistema con agua hasta que “parezca limpio” y, posteriormente, desinfectarlo mediante un proceso llamado cloración de choque (conocido también a veces como hipercloración).

#### **Sabía que:**

Cerca del 80% de la población canadiense está clasificada como “urbana” y la distribución de agua a este grupo de usuarios es una labor de gran envergadura.

Para realizar la cloración de choque tendrá que agregar al sistema una dosis de cloro mucho más alta de la dosis normal. En la cloración de choque suele ser común utilizar una concentración de 20 ó incluso 50 mg de cloro por litro de agua (mg/L), dependiendo del grado de contaminación del sistema. Aunque es preferible pecar por exceso que por defecto y utilizar concentraciones más altas de cloro, debe tener presente en todo momento que cualquier cloro que se agregue al sistema será eliminado antes o después al medio ambiente. El cloro puede tener efectos nocivos para la vida vegetal y animal circundante, por lo que debe utilizar sólo la cantidad necesaria. En algunos casos, será necesario quitar el cloro del agua eliminada del sistema. Un especialista en calidad del agua podrá darle instrucciones al respecto. Consulte a un especialista en calidad del agua o autoridad local responsable de las aguas residuales antes de enviar una gran cantidad de cloro al desagüe o un campo séptico (si utiliza un tanque séptico), puesto que el cloro puede dañar el sistema o el medio ambiente.

Para efectuar una cloración de choque, el primer paso consiste en calcular la dosis necesaria. En este ejemplo, supongamos que la concentración de cloro deseada es 20

mg/L. Y supongamos que la capacidad del tramo de tubería que debe ser desinfectado es de 100 litros de agua. Para una concentración de 20 mg/L, se debe agregar cloro puro en una proporción de 20 mg por cada litro de agua. Por lo tanto, habrá que añadir  $20 \times 100$ , esto es, 2.000 mg ó 2 g de cloro a ese tramo de tubería. No obstante, el cloro no suele presentarse en forma pura, sino que generalmente se suministra en una solución líquida (hipoclorito) que puede contener solamente 5% (0,05) ó 10% (0,1) de cloro por volumen. Partiendo de la base que 1 gramo de cloro líquido equivale aproximadamente a 1 ml, se necesitarán entonces 2 ml (2 g) de cloro puro, ó  $2/0,1 = 20$  ml de solución de hipoclorito al 10% (puede resultar útil revisar el Capítulo 4 para entender este ejemplo).

Una vez que haya determinado la dosis correcta, agréguela al sistema y deje el agua clorada reposar. La cloración necesita tiempo para funcionar. Dependiendo de la dosis, la mezcla de cloro y agua puede tener que permanecer en el sistema entre 2 y 24 horas (cuanto mayor sea la dosis, menor será el tiempo de espera). Transcurridas aproximadamente 2 horas, tome una muestra para comprobar la cantidad de cloro residual que queda en el sistema. Si el cloro residual ha bajado por debajo de 10 mg/L, tendrá que purgar el sistema e iniciar de nuevo el ciclo de cloración; el tramo reparado estaba demasiado sucio, por lo que la demanda de cloro era demasiado alta. Si al cabo de las 2 horas el cloro residual es como mínimo de 10 mg/L, deje reposar el sistema otras 2 horas y a continuación haga correr el agua por las tuberías hasta que no quede ningún olor a cloro. Antes de volver a poner en servicio el sistema, tome una muestra de agua y analícela para verificar la presencia de bacterias coliformes. Consulte el Capítulo 8 relativo al monitoreo y análisis para obtener más información sobre cómo tomar una muestra, y el Capítulo 9 sobre análisis e informes para obtener más información sobre cómo interpretar los resultados del análisis. Si el análisis da negativo, puede volver a poner en servicio el sistema.

## 6.5 Interconexión y prevención de contraflujo

El agua tratada en un microsistema debe mantenerse potable. Incluso en los microsistemas más pequeños existe siempre la posibilidad de una interconexión o contraflujo.

Una interconexión es cualquier conexión directa del suministro de agua tratada con cualquier fuente de contaminación. Puede tratarse de conexiones directas a sistemas de irrigación, alcantarillas de aguas pluviales, tuberías de sistemas sépticos o incluso una manguera de jardín cuyo extremo se haya dejado sumergido en un cubo de agua, estanque o charco. Fíjese en el uso repetido de la palabra “directa”. Evidentemente, los sistemas de irrigación y mangueras de jardín tienen que estar conectados al suministro de agua, pero también deben haberse adoptado también medidas para evitar que el agua de estos sistemas que pueda estar contaminada entre en el suministro de agua potable. Este proceso por el que el agua contaminada fluye y entra en el suministro de agua potable se conoce como contraflujo. Los problemas de contraflujo se pueden dividir en dos categorías: por contrapresión y por contrasifonaje.

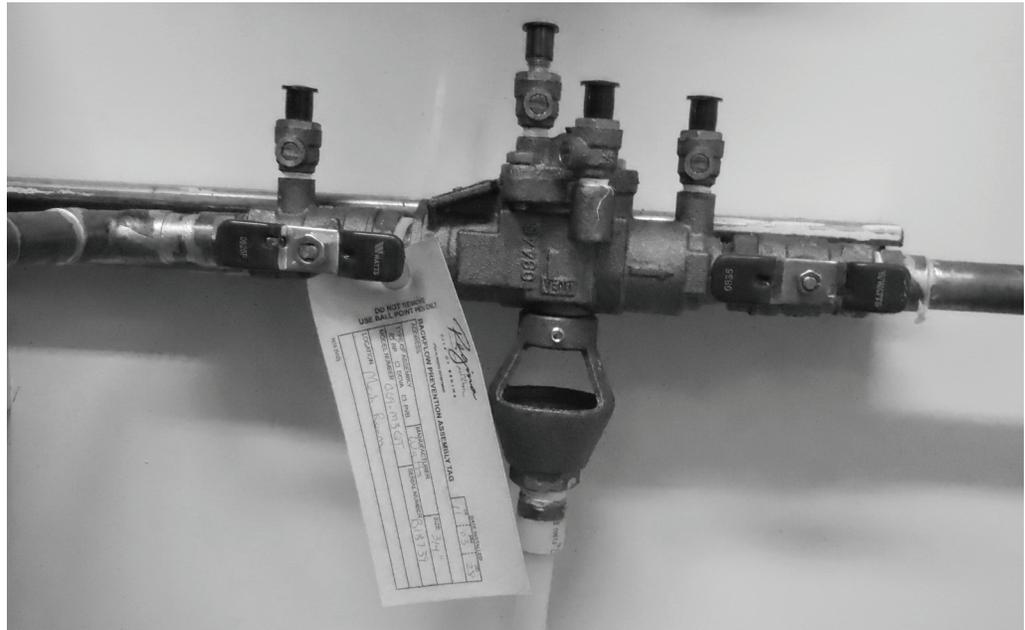
La contrapresión se produce cuando algo que está conectado al sistema de agua vence la presión de este último y fuerza el paso del agua por las tuberías en dirección contraria. Un ejemplo podría ser un calentador mal instalado que acumula demasiada presión y contamina el sistema con agua proveniente del tanque del calentador.

El contrasifonaje se produce cuando el sistema sufre una caída repentina de presión y el agua procedente de una fuente de contaminación es succionada en dirección contraria por el vacío creado. Un ejemplo podría ser una manguera de jardín que se haya dejado sumergida en un recipiente que contenga agua y jabón o en un charco de agua. Una caída brusca de la presión en el sistema succionará el agua a través de la manguera que se ha dejado sumergida en el recipiente o charco de agua, que se introducirá de ese modo en las tuberías de agua potable.

La prevención de contraflujos incluye cualquier medida adoptada para evitar que se produzca un contraflujo. Existen dos tipos de actividades de prevención: evitar, en primer lugar, que se produzcan interconexiones, e instalar dispositivos de protección en los casos en que puedan ocurrir interconexiones.

Evitar las interconexiones suele ser tan fácil como asegurarse de que todo el trabajo de plomería del sistema sea realizado por profesional acreditado. Estas personas están capacitadas para reconocer las interconexiones y pueden ayudar a evaluar el sistema para detectar posibles riesgos. Asegúrese además de que el extremo de cualquier tubería (incluidas las mangueras) conectada al sistema NO esté sumergido en CUALQUIER fuente de agua. Tal como se ha descrito en el ejemplo de contrasifonaje, dejar sumergido el extremo de una tubería o manguera crea la posibilidad de que se produzca un contraflujo.

**Fig 6.3** Un dispositivo de prevención de contraflujos



Existen numerosos dispositivos diseñados para ayudar a prevenir los contraflujos. Dejar un espacio de aire es de lejos la forma más eficaz de prevenir contraflujos. Explicado de forma sencilla, se trata de colocar una separación física entre el extremo de un sistema de tuberías de agua potable y el accesorio o dispositivo que recibe el suministro de agua (por ej.: fregadero). Un buen ejemplo de ello es un grifo de cocina. El extremo del grifo se sitúa lejos del borde del fregadero. Aunque llenara el fregadero al máximo, seguiría estando demasiado lejos como para llegar al sistema de tuberías de agua potable. Imagínese ahora conectar una manguera al extremo del grifo y dejar el otro extremo de la manguera sumergido en un recipiente de agua. En este caso ya no

existe un espacio de aire y se reúnen todas las condiciones para que se produzca un contraflujo.

No siempre es posible utilizar un espacio de aire para evitar los contraflujos, en cuyo caso se utilizan dispositivos mecánicos para asegurar que no haya una interconexión. Estos dispositivos deben estar diseñados e instalados de conformidad con el Código Nacional de Plomería de Canadá. Algunos dispositivos permiten hacer pruebas de control, otros no. Los dispositivos que permiten hacer pruebas son fáciles de reconocer porque incluyen puertos de prueba. Deben ser sometidos a prueba cada año por un especialista en control de interconexiones. Los dispositivos que no permiten hacer pruebas de control deben ser instalados por un plomero profesional y su mantenimiento debe formar parte del mantenimiento del sistema de distribución. Para obtener más información, consulte a un especialista en calidad del agua o un especialista en control de interconexiones.

Contratar los servicios de un especialista certificado en control de interconexiones puede ser la mejor forma de asegurar la protección del sistema de suministro de agua contra interconexiones que puedan causar contraflujos. Estas personas están capacitadas para reconocer las interconexiones y pueden evaluar el sistema para detectar posibles riesgos.

## 6.6 Agua suministrada por camión cisterna

Es posible que, en ciertas situaciones, un microsistema no tenga acceso a la red de agua municipal ni a una fuente de agua in situ como un pozo. En estos casos, un transportista comercial de agua suministra regularmente el agua. Para el agua suministrada por camión cisterna, las condiciones higiénicas del equipo de transporte son fundamentales puesto que todos los componentes del equipo de transporte se convierten en una parte del sistema de distribución. La cisterna o contenedor (en lo sucesivo denominada cisterna de agua) utilizada para transportar el agua potable, incluidas las bombas, mangueras y otro equipo utilizado para suministrar agua potable, se deben mantener y operar en condiciones adecuadas de limpieza e higiene para reducir la posibilidad de contaminación. La cisterna de agua no debe utilizarse para transportar otros líquidos o material que pueda contaminar esa agua. Asimismo, la cisterna de agua no debe haber sido utilizada anteriormente para transportar una sustancia nociva, peligrosa o tóxica.

La cisterna de agua debe estar construida con materiales que cumplan con la norma NSF/ANSI Standard 61 (relativa a los materiales cuyo uso está autorizado en los sistemas de agua potable) y disponer de un acceso fácil para su limpieza. Cuando se realicen inspecciones visuales del interior de la cisterna de transporte de agua se deben seguir todos los procedimientos normalizados de trabajo que se aplican al trabajo cerca o dentro de espacios confinados. La cisterna de agua debe ser desinfectada cada semana. Cuando se llena o vacía la cisterna, han de tomarse precauciones para evitar problemas de contraflujo o contrasifonaje, tal como se han explicado en la Sección 6.5 (por ej.: mediante un espacio de aire o conjunto de válvula de retención doble).

Las conexiones con la cisterna de agua deben estar construidas y protegidas de tal modo que no puedan entrar contaminantes en el suministro de agua y que no se pueda acumular hielo en las boquillas durante el invierno. Deben mantenerse cerradas salvo durante el llenado o limpieza de la cisterna.

El agua suministrada deberá ser analizada para asegurar que contenga como mínimo 0,2 mg/L de cloro libre.

### Sabía que:

El plomo se puede introducir en la red de agua potable a través de los conductos de entrada de servicio (tuberías de agua que conectan la residencia con la red principal de suministro de agua), soldaduras de plomo en los sistemas de plomería o accesorios de latón como un grifo.

Tal como se ha explicado en la Sección 6.3 (sobre tanques de almacenamiento de agua potable), es importante mantener y limpiar con cuidado el tanque receptor, y asegurarse de que no se utilice para ninguna otra finalidad que la de almacenar agua potable. Debe limpiarse y desinfectarse el tanque receptor con regularidad, antes de utilizarlo por primera vez y después de cualquier reparación o trabajo de mantenimiento. Por último, deberá asegurarse de controlar regularmente la calidad del agua en su tanque de almacenamiento mediante análisis de detección de *E. Coli* y coliformes totales siguiendo las recomendaciones del Ministerio de Salud de Canadá.

**Para obtener más información sobre el agua suministrada por camión cisterna, consulte el módulo del DVD sobre tanques de almacenamiento de agua potable.**

## 6.7 Agua embotellada y dispensadores de agua

Los reglamentos que rigen el agua embotellada son diferentes de las recomendaciones para la producción del agua tratada en un microsistema. Para tener una idea general de los reglamentos asociados con la distribución de agua embotellada como fuente de agua potable, consulte la Sección 2.7 de este manual.

**Fig 6.4** Un dispensador de agua típico

Aunque el agua embotellada sea suministrada a una instalación libre de contaminación, el proceso de distribución de esa agua exige adoptar medidas para asegurar que sea potable cuando es dispensada. Así, es necesario limpiar y desinfectar periódicamente los dispensadores de agua con una solución a base de cloro. Para ello se puede utilizar un blanqueador doméstico ordinario (no perfumado) puesto que es un método económico, cómodo y eficaz. Limpiar y desinfectar el dispensador con una solución de cloro de una concentración de 10 mg/L es una buena forma de mantener limpio el dispensador y asegurar que el agua sea segura para consumir. El Ministerio de Salud de Canadá ofrece instrucciones paso a paso para limpiar un dispensador de agua embotellada, que se han incluido en el Apéndice C.

**Para obtener más información sobre el agua embotellada y los dispensadores, consulte el módulo del DVD sobre el agua embotellada y su selección y utilización en instalaciones federales.**



## 7.0 Conocer su sistema desde la fuente hasta el grifo

### 7.1 Introducción

Tal como se mencionó en el Capítulo 1, Canadá defiende el enfoque de barreras múltiples para ofrecer agua potable segura. Incluye barreras como las de carácter físico que se encuentran en el proceso de tratamiento, capacitación para entender el proceso de tratamiento y el funcionamiento y mantenimiento del tren de tratamiento y el sistema de distribución. Otra barrera importante es el conocimiento, esto es, conocer el sistema completo desde la fuente de agua bruta hasta el punto en el que se utiliza el agua tratada, esto es, desde la fuente hasta el grifo. En este capítulo se presentan tres herramientas importantes que se utilizan para adquirir esos conocimientos: la evaluación de las vulnerabilidades, el estudio sanitario y el análisis químico de referencia. Además, se explica la importancia de conocer su fuente de agua y cómo protegerla.

Cada 5 años, o siempre que se hayan producido cambios importantes en el sistema de tratamiento, uso de la tierra u otras condiciones que hayan podido repercutir de forma negativa en la calidad del agua, se debe realizar una evaluación de las vulnerabilidades, un estudio sanitario y un análisis químico de referencia. Estas herramientas ayudarán a decidir si se necesitan realizar cambios en el programa de monitoreo.

Está reconocido que, en el caso de instalaciones o situaciones únicas como sistemas situados en lugares remotos que prestan servicio a un número muy limitado de personas, es posible que no sea física o económicamente viable realizar cada 5 años todos los componentes de evaluación/estudio/análisis, una vez que se hayan completado los primeros. En estos casos, deberá hacerse todo lo posible para, como mínimo, efectuar una evaluación de las vulnerabilidades y un estudio sanitario cada 5 años a fin de determinar si se han producido cambios que hagan necesario modificar el programa de monitoreo continuo.

Aunque es posible que la evaluación/estudio/análisis sólo se realice cada cinco años, los ministerios deberán hacer todo lo posible para mantenerse siempre al corriente de cualquier cambio en un sitio que pudiera influir en la calidad del agua.

### 7.2 Evaluación de las vulnerabilidades y gestión de los riesgos

Una evaluación de las vulnerabilidades tiene tres componentes principales. Estos son:

1. Conocer la procedencia de su agua de origen.
2. Identificar los posibles riesgos.
3. Determinar la susceptibilidad de su fuente a esos riesgos.

En las secciones siguientes examinaremos detalladamente cada uno de estos tres componentes.

#### 7.2.1. Conocer su fuente

Es necesario definir y delinear el área de tierra de la que proceden el agua bruta y los posibles contaminantes de una fuente de suministro de agua. Este proceso permitirá al equipo responsable de la gestión del agua potable en las instalaciones centrar sus esfuerzos en un área definida y responder de forma adecuada a los incidentes o emergencias que puedan surgir. Esto se aplica tanto a las fuentes de agua superficial

como a las de agua subterránea. Para un suministro de agua superficial, el área delineada se conoce como una cuenca hidrográfica. Para un suministro de agua subterránea, el área en la que el agua entra desde la superficie, denominada el área de recarga, puede encontrarse en la cuenca donde se sitúa el pozo, o puede estar situada a bastante distancia del pozo.

En este componente de evaluación de las vulnerabilidades se deberían identificar las características de la fuente del agua, geología y características de la zona circundante para determinar los elementos que podrían estar presentes en el agua y los posibles problemas en el agua potable tratada. Por ejemplo, la presencia de materia orgánica disuelta en el agua superficial puede dar lugar a la formación de subproductos de desinfección dañinos cuando se clora el agua.

Existen numerosos métodos para delinear las cuencas hidrográficas y acuíferos, desde la elaboración de sencillos mapas del terreno hasta complejos modelos matemáticos que requieren una gran cantidad de datos de campo. Para decidir el método que ha de utilizarse se tendrán en cuenta las características del agua de origen y el riesgo relativo de contaminación.

### 7.2.2. Identificar los riesgos

El próximo paso consiste en identificar los posibles riesgos que podrían afectar la fuente de agua dentro del área delineada. Para identificar los riesgos se pueden utilizar diferentes métodos como la elaboración de inventarios de usos de la tierra y fuentes de contaminantes, evaluaciones de las características de las cuencas hidrográficas y/o acuíferos, y el control de los datos relacionados con la calidad y cantidad del agua de origen.

En la evaluación de las vulnerabilidades es fundamental identificar los riesgos, puesto que influyen en el tipo de tratamiento necesario y en cualquier respuesta que deba adoptarse con relación a la cuenca hidrográfica/acuífero. Por ejemplo, en el caso de una cuenca en la que los principales riesgos proceden de efluentes industriales se actuará de forma diferente al de una cuenca en la que la principal amenaza para la calidad del agua es el alto nivel de nutrientes debido a las actividades agrícolas.

### 7.2.3. Determinar la susceptibilidad a los riesgos

Una vez que se hayan identificado los riesgos dentro de un área delineada, es necesario establecer la vulnerabilidad de la fuente a esos riesgos. Se deben determinar también las repercusiones que los riesgos podrían tener en la salud humana. Los resultados de estas evaluaciones influyen en la elección del tratamiento necesario para asegurar que el agua sea segura y de aspecto agradable para el consumo humano. Sirven también para orientar las prácticas de gestión óptimas en la tierra que afecta a las cuencas/áreas de recarga al identificar la cantidad y calidad del agua, y su posible vulnerabilidad a la degradación. Los resultados de la evaluación pueden ser de enorme utilidad para otros organismos, el sector industrial local y usuarios comunitarios del agua con intereses comunes.

A la hora de evaluar la vulnerabilidad o riesgo, es necesario completar los datos procedentes de la identificación de los riesgos con datos de monitoreo para tener una idea de la concentración en que el contaminante se encuentra en el agua de origen y determinar si esta concentración cambia con el tiempo. Deben registrarse también las

#### Sabía que:

En las comunidades de las Primeras Naciones situadas al sur del paralelo 60°N, los Consejos de Comunidad de las Primeras Naciones, el Ministerio de Salud de Canadá y el Ministerio de Asuntos Indígenas y del Norte de Canadá comparten las responsabilidades relativas al agua potable. En las comunidades de las Primeras Naciones situadas al norte del paralelo 60°N, por lo general las responsabilidades relativas al agua potable competen a los gobiernos territoriales.

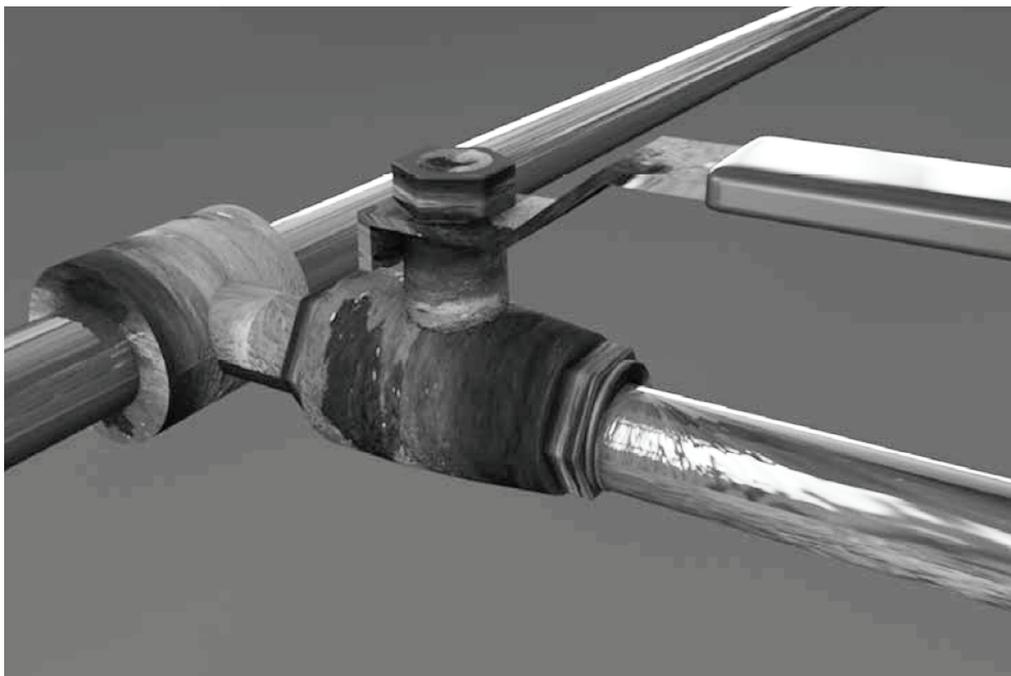
fluctuaciones en parámetros físicos del agua como el pH y la turbidez. Estos tipos de datos se recopilan mediante programas de monitoreo de larga duración. Aunque se pueden elaborar modelos para las concentraciones, es preferible obtener datos de monitoreo en tiempo real y específicos del lugar.

### 7.3 Estudio sanitario

Un estudio sanitario es un examen in situ, desde el punto de toma de agua hasta el grifo, de la calidad del agua bruta del sistema de agua, las instalaciones de toma del agua de la fuente, el equipo de tratamiento y el sistema distribución, los procedimientos operacionales establecidos y los registros de mantenimiento. El objetivo del estudio es evaluar la capacidad del sistema para tratar adecuadamente el agua de origen a fin de producir y suministrar agua potable segura. El alcance del estudio sanitario varía según el tipo y la complejidad del sistema de agua de que se trate.

El monitoreo de la calidad de una fuente de suministro de agua puede identificar cambios en la calidad del agua con el paso del tiempo, lo que puede ayudar a detectar problemas de contaminación y determinar si estos problemas se han producido en la fuente, durante el tratamiento del agua o en el sistema de distribución. No obstante, puede que sólo sea posible tomar unas pocas muestras, por lo que los resultados de cualquier análisis podrían no ser representativos del sistema de suministro de agua en su conjunto. Un estudio sanitario es un complemento esencial para monitorear la calidad del agua. Estos dos procesos juntos permiten evaluar de forma global los numerosos factores asociados con un sistema de suministro de agua, incluidos los sistemas de tratamiento y distribución. Junto con el monitoreo de la calidad del agua, el estudio sanitario proporciona información que ayudará a localizar posibles problemas. Esta información puede identificar fallos, problemas que normalmente no deberían ocurrir, errores del operador y cualquier desviación del estado normal que podría afectar la producción y distribución de agua potable segura.

**Fig 7.1** Monitoreo de tuberías y accesorios corroídos



#### 7.4 Análisis químico de referencia

El análisis químico de referencia, junto con la evaluación de las vulnerabilidades y el estudio sanitario, debería ser la base para el programa de monitoreo (es decir, una lista de sustancias que deben ser sometidas a una supervisión periódica). Basándose en el programa de monitoreo, los ministerios deberían poder elaborar un proceso adecuado de tratamiento del agua para responder a las necesidades de la instalación.

El programa de monitoreo para contaminantes químicos identificado específicamente por el análisis de referencia debería incluir, como mínimo, el monitoreo anual de las fuentes de agua superficial y el monitoreo cada 2 años de las fuentes de agua subterránea, a menos que se indique de otro modo en las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá.

Como medida de salvaguardia, se recomienda asimismo realizar un análisis químico de referencia cada cinco años, a menos que un estudio sanitario o evaluación de las vulnerabilidades indique que este tipo de análisis deba efectuarse con mayor o menor frecuencia.

Si ciertas sustancias están sistemáticamente ausentes en un sistema de agua, puede reducirse la frecuencia del muestreo para dichas sustancias. Asimismo, cuando el suministro de agua procede de fuentes con pocas probabilidades de estar contaminadas por actividades humanas (desechos industriales y agrícolas, aguas residuales municipales), puede que sólo sea necesario realizar un análisis químico de referencia para identificar posibles nuevas fuentes de agua potable y, posteriormente, de manera ocasional.

**Fig 7.2** El análisis químico de referencia proporciona información para el programa de monitoreo



En el caso del agua potable suministrada por una red de abastecimiento municipal, el análisis químico de referencia incluiría un análisis del agua recibida para determinar si existe algún problema con el suministro que requiera un tratamiento adicional o si debería utilizarse una fuente alternativa. Los ministerios federales y las comunidades de las Primeras Naciones deberían solicitar a su municipio los resultados de los análisis de calidad del agua. Esta información indicará las sustancias analizadas.

## 7.5 Protección de la fuente

La evaluación de las vulnerabilidades habrá identificado la fuente del agua y la cuenca hidrográfica (si se trata de una fuente de agua superficial) o el área de recarga (en el caso de las fuentes de agua subterránea). Identificar las áreas de recarga para el agua subterránea poco profunda puede ser fácil, mientras que identificar esas áreas para los pozos profundos puede ser extremadamente difícil. Una vez que las áreas de recarga se hayan identificado, es importante proteger el área para reducir el potencial de contaminación del agua subterránea. La evaluación de vulnerabilidades también habrá identificado los posibles riesgos de contaminación del agua de la fuente. Teniendo en cuenta esa información, es posible que su especialista en calidad del agua haya elaborado un programa de protección de la fuente de agua.

Proteger la fuente de agua es uno de los componentes fundamentales del enfoque de barreras múltiples para suministrar agua potable segura. Se trata de una actividad importante tanto para las fuentes de agua superficial como para las fuentes de pozos pocos profundos. Los pozos profundos pueden tener áreas de recarga muy distantes del pozo, por lo que puede ser muy difícil determinar el emplazamiento del área de recarga superficial para el acuífero e integrarla en la protección de la fuente superficial del agua. No obstante, incluso los acuíferos profundos se pueden contaminar, por lo que sigue siendo importante monitorear la calidad del agua de la fuente.

La protección del agua de la fuente engloba cuatro elementos: establecer los objetivos, monitorear la calidad del agua de la fuente, establecer y mantener asociaciones con otros usuarios de la misma fuente, y sensibilizar al público.

- El establecimiento de directrices ofrece objetivos que cumplir.
- El monitoreo ayuda a determinar si se están cumpliendo los objetivos.
- Crear y mantener asociaciones, y mejorar la sensibilización del público genera el apoyo necesario para gestionar la difícil labor de proteger el agua de la fuente.

Uno de los métodos más fáciles para suministrar agua potable es escoger una fuente de agua que tenga muy pocos contaminantes. La protección del agua de la fuente es un método para asegurar que todos los interesados en la cuenca trabajen juntos para reducir la introducción de contaminantes en la fuente de agua. Se trata de una tarea de gran envergadura para la que se necesita la cooperación de un gran número de personas y organismos diferentes, y el establecimiento de compromisos basados en la evaluación de los riesgos que entraña.

### Sabía que:

El objetivo de un plan de gestión de cuencas hidrográficas/ acuíferos es implementar medidas de gestión que permitan mantener o mejorar la calidad del agua de esas fuentes.

**Fig 7.3** Para proteger la fuente es necesario involucrar a otras partes interesadas



Por lo general, elaborar un plan de protección del agua de la fuente no es responsabilidad del operador del microsistema. Habitualmente, un especialista en calidad del agua, un ingeniero en calidad del agua o un oficial de higiene ambiental dirigirá el equipo encargado de elaborar un plan de protección. El jefe del equipo solicitará la contribución y participación de diversas fuentes, entre las que suelen figurar el gerente de la instalación, expertos ministeriales, el operador del microsistema y, de ser necesario, personal comunitario.

La protección del agua de la fuente depende de los conocimientos que se tengan del sistema de suministro de agua, desde la fuente hasta el grifo. El plan de protección del agua de la fuente integra elementos de la evaluación de las vulnerabilidades, el estudio sanitario y el análisis químico de referencia. Se trata de una tarea complicada que a menudo parece intimidante, pero es fundamental al representar una de las barreras múltiples que ayudan a suministrar agua potable segura.

## 7.6 Utilizar agua suministrada por la red municipal

A menudo, la fuente de agua potable en las instalaciones propiedad del gobierno federal u operadas por él es la red local municipal de abastecimiento de agua. La responsabilidad respecto a la calidad de esta agua corresponde al propietario del sistema de agua y no al municipio local.

A fin de garantizar que la calidad del agua recibida es aceptable, los gerentes federales de control de la calidad del agua y, en el caso de las comunidades de las Primeras Naciones, los operadores de las plantas de tratamiento del agua y personal de apoyo técnico deberían mantener un contacto regular con el municipio. Mantener relaciones sólidas con las principales personas de contacto en el programa de agua potable del municipio es importante a fin de estar informado de cualquier problema relativo a la calidad o cantidad de agua que podría afectar la salud de los consumidores. Deberían revisarse periódicamente los informes municipales que describen los resultados de los análisis de las muestras de agua para mantenerse informado de los cambios en las características del agua y entender la calidad del agua potable que entra en el sistema de distribución de la instalación o la red de tuberías del edificio.

Si el agua procede de un municipio, se puede negociar para que el edificio federal sea inscrito en la lista de sitios municipales de muestreo periódico. En caso contrario, deberán tomarse muestras de agua en el punto más cercano de la toma de agua municipal del edificio para establecer valores de referencia relativos a la calidad del agua.

### Sabía que:

El plan de cuencas hidrográficas/ acuíferos es un proceso innovador de gestión que examina todos los factores que afectan a toda la cuenca (como el aire, tierra y recursos hídricos), centrandose su atención al mismo tiempo en los problemas de mayor prioridad.



## 8 Monitoreo y análisis

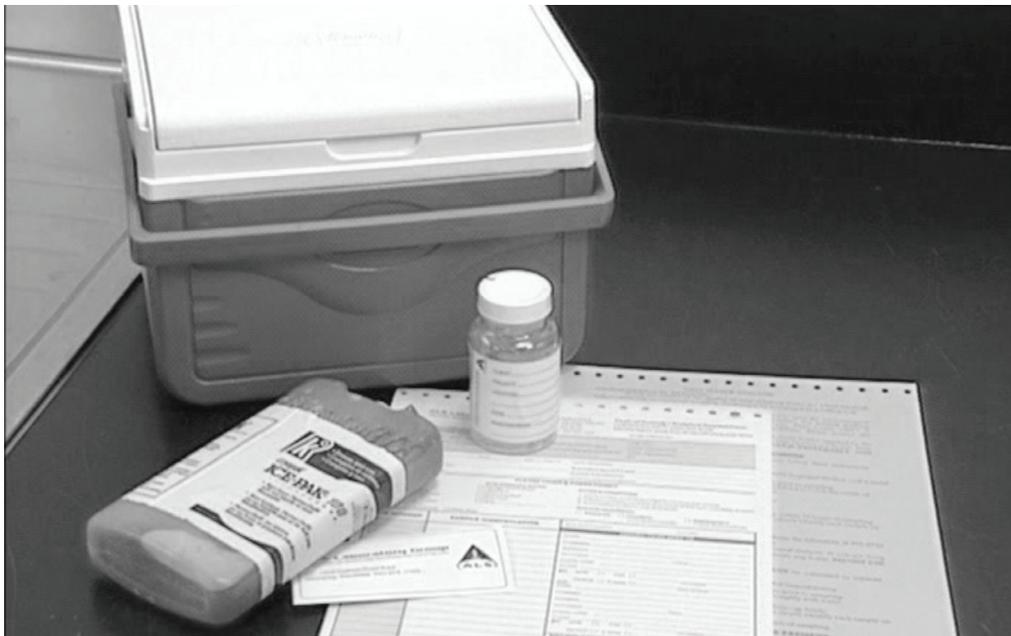
### 8.1 Introducción

#### 8.1 Introducción

El enfoque de barreras múltiples para suministrar agua potable segura consiste en asegurar que se hayan establecido una serie de barreras para impedir que los contaminantes lleguen al agua destinada al consumo. Estas barreras incluyen barreras físicas familiares como la protección de la fuente y los procesos de tratamiento. Otra barrera importante es el monitoreo y análisis regulares del agua. Un programa regular de monitoreo proporcionará resultados de análisis para indicar que los procesos físicos están funcionando correctamente y que el agua es potable. Si no se realiza un monitoreo ni análisis, no hay forma de saber si el sistema produce o no agua que cumple con las recomendaciones federales para el agua potable segura.

El documento *Consejos para suministrar agua potable segura en los sectores de competencia federal* define el marco para las responsabilidades y obligaciones de quienes intervienen en el suministro de agua potable segura. Basándose en esos consejos, un experto en calidad del agua elaborará un programa de monitoreo para el microsistema. Dado que este programa de monitoreo es una de las barreras de protección, es importante respetar el programa y los procedimientos para el monitoreo de la calidad del agua.

**Fig 8.1** Un kit de muestreo



### 8.2 Cuándo tomar muestras

Todas las instalaciones federales requieren algún tipo de plan de monitoreo. El programa de monitoreo para todos los sistemas federales de agua potable, independientemente de su tamaño, debería elaborarse teniendo en cuenta la información proporcionada por una evaluación de las vulnerabilidades, un estudio sanitario y un análisis químico de referencia. Cada uno de estos componentes debería ser llevado a cabo por un experto competente en el campo correspondiente. Esta información se utilizará, junto con los

Consejos para suministrar agua potable en los sectores de competencia federal, para crear un plan de monitoreo, que precisará cuándo y con qué frecuencia deberán tomarse muestras.

El plan de monitoreo debería ser revisado cada 5 años o cada vez que se produzcan cambios importantes en el sistema de tratamiento, uso de la tierra u otras condiciones que pudieran repercutir de forma negativa en la calidad del agua. La evaluación de las vulnerabilidades, el estudio sanitario y el análisis químico de referencia deberían ser examinados de nuevo para determinar si es necesario hacer cambios en el programa de monitoreo.

En el caso de sistemas muy pequeños que prestan servicio a un número muy limitado de personas, y cuando el suministro tiene un historial de producir agua de gran calidad bacteriológica, podría reducirse la frecuencia del muestreo. En esos casos, se deberían tomar y analizar muestras cuando el riesgo de contaminación sea máximo y, consecuentemente, pueda representar riesgos para la salud. Esto ocurriría, entre otros, cuando se produce el deshielo primaveral, lluvias torrenciales o períodos de sequía intensos, cuando se hagan cambios en el sistema de tuberías o cuando se produzca un deterioro apreciable de la calidad del agua. Si está considerando reducir la frecuencia del muestreo, es importante consultar a un especialista en calidad del agua.

### 8.3 Qué analizar en las muestras

Los parámetros más importantes que debe controlar tienen que ver con la calidad microbiológica del agua potable. La presencia de actividad biológica puede presentar riesgos graves para la salud. De hecho, garantizar la calidad microbiológica del agua potable es la máxima prioridad para proteger la salud pública. Los organismos indicadores coliformes totales y *E. coli* son los parámetros microbiológicos que deben ser controlados. La presencia de *E. coli* en el agua indica que ésta se ha contaminado con materia fecal. La presencia de coliformes totales en el agua indica que, en el caso de un sistema no desinfectado, existe contaminación microbiológica y, en el caso de un sistema desinfectado, el sistema de desinfección no trata el agua de forma adecuada.

Los operadores de microsistemas, especialistas en calidad del agua, oficiales de higiene ambiental o responsables de suministrar agua potable segura, pueden decidir también hacer un análisis para detectar bacterias mediante el Recuento de Placas Heterotróficas a fin de entender mejor la calidad general del agua potable. Un aumento del recuento de bacterias heterotróficas respecto a las condiciones de referencia, indica un aumento de la actividad microbiológica en el sistema. Conviene indicar que, a diferencia de los parámetros de coliformes totales y *E. coli*, el recuento de las bacterias heterotróficas no es un buen indicador de la seguridad microbiológica del agua.

Las instalaciones federales e instalaciones en las comunidades de las Primeras Naciones que tratan y suministran su propia agua potable deben controlar la turbidez de su agua, puesto que se trata de un indicador importante de la calidad del agua. Es también un indicador importante de la eficacia del tratamiento y el buen funcionamiento del filtro. La turbidez se puede medir utilizando turbidímetros en línea o con un kit de análisis. Las muestras de turbidez deben ser analizadas in situ por una persona capacitada. La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez y será su especialista en calidad del agua quien establezca el valor de turbidez permisible.

La turbidez en el agua se debe a la acción de materia suspendida y coloidal como arcilla,

#### Sabía que:

No es necesario contratar los servicios de un laboratorio acreditado para realizar análisis en el marco del monitoreo operacional.

limo, materia orgánica e inorgánica fina, plancton y otros organismos microscópicos. El control de la turbidez en los suministros de agua es importante tanto por razones de salud como estéticas. El agua con altos niveles de turbidez no sólo es poco atractiva para el consumidor, sino que además, las partículas que causan la turbidez pueden interferir también con la desinfección y ser una fuente de organismos que causan enfermedades.

Si el microsistema incorpora cloro ya sea para la desinfección primaria o secundaria, es importante monitorear el cloro residual libre. Al igual que la turbidez, el cloro residual en un microsistema es un indicador importante de la seguridad del agua o de posibles problemas relacionados con la integridad microbiológica. Los valores de cloro residual siempre deben situarse dentro del intervalo especificado para el sistema, en todos los puntos del sistema.

El análisis químico de referencia inicial puede haber identificado ciertos parámetros específicos que están presentes en el agua de la fuente y que plantean problemas para la salud, como el arsénico. O puede que haya identificado parámetros que suponen un problema para el funcionamiento o de calidad estética, como el hierro y color. Estos parámetros deberían ser analizados en todas las muestras para comprobar que el sistema de tratamiento está funcionando correctamente.

#### 8.4 Dónde tomar las muestras

Las muestras deben tomarse en el punto en el que el agua entra en el sistema (a fin de monitorear la calidad del agua de la fuente sin tratar) y en puntos representativos de todo el sistema de distribución del agua potable, aunque no necesariamente siempre en los mismos puntos. En el caso de los sistemas muy pequeños con un sistema de distribución mínimo o inexistente, las muestras deberían tomarse en el punto en que el agua deja el sistema de tratamiento.

Si el suministro de agua procede de más de una fuente, se debe escoger un lugar para los puntos de toma de muestras en el sistema de distribución que asegure el muestreo periódico del agua de cada una de las fuentes. La mayoría de las muestras deberían tomarse en posibles áreas problemáticas como zonas de baja presión, depósitos, puntos muertos, áreas en el lado del sistema más alejado de la planta de tratamiento y áreas que anteriormente ya hayan presentado problemas. Las instalaciones abastecidas por la red municipal de agua deberían tomar muestras en la cañería principal o punto de entrada al edificio, en el sistema de tuberías del edificio y en otros lugares identificados en la evaluación de vulnerabilidades y el estudio sanitario.

La elección de los lugares en el sistema de tuberías del edificio para tomar las muestras puede hacerse al azar para empezar a fin de detectar puntos problemáticos, esto es, lugares en los que la calidad del agua es de peor calidad que cuando sale del sistema de tratamiento. Con el tiempo, estos puntos problemáticos podrían convertirse en lugares de muestreo regular. Deberían tomarse muestras también de forma ocasional en otros lugares del edificio. El muestreo para análisis químicos será diferente al muestreo microbiológico con respecto al lugar de toma de las muestras, su frecuencia y cómo deben tomarse las muestras. Consulte a un especialista en calidad del agua para asegurarse de que el muestreo se realiza de forma correcta para cada tipo de análisis diferente.

**Sabía que:**

Los síntomas causados por el consumo de agua contaminada con *E.coli* pueden aparecer tan sólo unas horas después de ingerir el agua contaminada o hasta un mes después.

## 8.5 Cómo tomar las muestras

Cuando se hagan análisis para detectar contaminación, es fundamental que la muestra tomada sea representativa del agua presente en el sistema de distribución. A continuación se describen los procedimientos que deberá seguir para asegurar que las muestras tomadas y enviadas al laboratorio estén libres de cualquier contaminante introducido accidentalmente. Por lo general, las muestras se tomarán en un grifo de agua accesible.

Dado que los procedimientos de muestreo pueden cambiar con el tiempo, debe consultar a un especialista en calidad del agua para asegurarse de que el procedimiento que está siguiendo para tomar una muestra es correcto.

Muestreo microbiológico.

1. Retire los aireadores, tubos, filtros o dispositivos de tratamiento que estén conectados al grifo (pueden contener bacterias).  
Si el entorno está sucio, puede sumergir el grifo en una solución de blanqueador doméstico no perfumado para asegurar que el material microbiológico vivo del grifo no caiga de forma accidental en la muestra. Prepare esta solución con 2 ml de blanqueador por litro de agua. Tenga en cuenta que esterilizar el grifo no es una parte obligatoria del procedimiento de muestreo, pero es recomendable si el grifo está bastante sucio.
2. Lávese las manos o póngase guantes estériles desechables.
3. Lea y siga exactamente las instrucciones incluidas en el kit de muestreo provisto por el laboratorio. escoja la botella de muestreo adecuada. Algunos kits incluyen un polvo en la botella de muestreo, llamado tiosulfato de sodio. No enjuague la botella ni vierta este polvo puesto que es necesario para neutralizar el cloro en el agua.
4. Tome la muestra utilizando solamente el grifo de agua fría. Abra el grifo por completo y deje correr el agua durante dos minutos antes de tomar la muestra.
5. Una vez que haya dejado correr el agua durante dos minutos, reduzca el flujo de agua del grifo hasta que tenga un diámetro similar al de una plumafuente.
6. Quite el tapón de la botella pero no lo coloque encima de una superficie. Llene la botella hasta la línea marcada y tenga cuidado de no tocar el interior del tapón ni la boca de la botella; evite también que la botella toque el grifo.
7. Cierre la botella de muestreo asegurando firmemente el tapón de modo que la muestra quede sellada dentro de la botella.
8. Seque inmediatamente el exterior de la botella y rellene la etiqueta de la botella con la información necesaria. A continuación, rellene el formulario de cadena de custodia del laboratorio y fírmelo en el lugar correspondiente. Guarde una copia firmada del formulario.
9. Coloque la muestra y los formularios de cadena de custodia en la bolsa de plástico con cierre hermético proporcionada por el laboratorio. Coloque la bolsa en el contenedor de expedición, normalmente un contenedor refrigerante, junto con un bloque refrigerante para mantener fría la muestra de agua.
10. Para analizar la muestra, ésta debe mantenerse fría durante su transporte hasta el laboratorio de análisis. La muestra debe llegar al laboratorio en un plazo de 24 a 48 horas.

**Para obtener más información sobre cómo tomar una muestra de agua, consulte el módulo de capacitación del DVD sobre procedimientos para llevar a cabo muestreos de agua en instalaciones federales.**

## 8.6 Dónde enviar las muestras

Cuando se realizan pruebas y análisis de muestras de agua (salvo algunas excepciones, como los de *E. coli* y coliformes totales, cuyas condiciones se detallan más abajo), los ministerios federales o, en el caso de las comunidades de las Primeras Naciones, los gerentes y operadores de instalaciones y personal de apoyo técnico, deben utilizar un laboratorio acreditado por una de las entidades siguientes:

Canadian Association for Laboratory Accreditation Inc. (CALA) – (Asociación Canadiense para la Acreditación de Laboratorios),

Standards Council of Canada (SCC) – (Consejo Canadiense de Normas) o,

Programme d'accréditation de laboratoires d'analyse environnementale (PALAE) (Quebec) – (Programa de Acreditación de Laboratorios de Análisis Medioambiental).

SCC/CALA definen la acreditación como “el reconocimiento formal de la competencia de un laboratorio para realizar determinados análisis”. Un laboratorio recibe una acreditación específica para cada análisis individual, por ejemplo, el análisis de plaguicidas en el agua potable.

Las misiones canadienses en países extranjeros deben utilizar los servicios de un laboratorio acreditado que cumpla con la norma IEC17025-1999, Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración, de la Organización Internacional de Normalización (ISO).

En el sitio web de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC, por su sigla en inglés) se puede encontrar una lista de laboratorios acreditados en todo el mundo, agrupados por país, en la sección titulada “Membership”.

Cuando se trata de muestras para analizar ciertos parámetros microbiológicos (*E. coli* y coliformes totales), los gerentes y/u operadores de las instalaciones pueden permitir a personal cualificado utilizar kits portátiles de pruebas en lugar de recurrir a los servicios de un laboratorio acreditado. No obstante, a fin de asegurar un control adecuado de la calidad, deberá enviarse como mínimo un 10% de todas las muestras a un laboratorio acreditado para que sean analizadas o, si no fuera físicamente posible, deberán analizarse muestras adicionales utilizando el kit para fines de control de la calidad.

### Sabía que:

La *giardiasis* o lambliasis es causada por un parásito intestinal que puede afectar a los mamíferos y humanos.

Se pueden utilizar kits portátiles de pruebas para analizar una amplia gama de parámetros, como los parámetros microbiológicos mencionados más arriba u otros parámetros como la turbidez, el pH o el cloro. Los materiales que se utilizan con los kits portátiles de pruebas pueden tener una fecha de caducidad, por lo que es importante asegurarse de que ninguno de los materiales que se están utilizando haya caducado. Todos los instrumentos utilizados deberían ser calibrados para asegurar la precisión, y si se utilizan kits de uso único, deberá comprobarse la precisión de cada lote de nuevos kits.

Estos kits deben cumplir los requisitos mínimos de precisión y detección (sensibilidad) para el contaminante en cuestión.

**Nota: Los kits de pruebas no tienen la misma fiabilidad que los análisis realizados en laboratorio, por lo que solamente deberían utilizarse como un indicador de problemas y no como medio para hacer un diagnóstico completo de los mismos. Si un kit de pruebas indica la posibilidad de contaminación, habrá de realizarse análisis de laboratorio adicionales.**



## 9 Análisis e informes

### 9.1 Introducción

Los resultados del análisis en laboratorio de una muestra de agua indicarán el contenido del agua. No obstante, es el equipo encargado de la calidad del agua el que debe interpretar esos resultados y decidir las medidas que, de ser necesario, han de tomarse. La persona que interpreta los resultados y la que adopta cualquier medida necesaria puede variar; en algunos casos será el especialista en calidad del agua quien interprete los resultados e informe a la persona responsable del funcionamiento y mantenimiento del sistema de las medidas que deben tomarse. En otras situaciones, el operador del microsistema puede recibir el informe de laboratorio y utilizar los manuales operativos para ayudarle a interpretar los resultados del análisis y los procedimientos normalizados de trabajo para determinar las medidas que han de tomarse.

### 9.2 Cómo leer un informe de laboratorio

Un informe de laboratorio contiene, además de los resultados del análisis de la muestra de agua, toda la información que se registró en la botella de la muestra y el formulario de cadena de custodia que se envió con la muestra. Es importante revisar esta información y verificar que fue transferida correctamente al informe del laboratorio.

En la parte superior del informe figura el nombre e información de contacto del laboratorio. Es posible que se indiquen también las acreditaciones del laboratorio. Tal como se indicó en el Capítulo 8, los laboratorios no están acreditados por su nombre, sino en función del tipo de análisis que están acreditados para realizar.

Cerca de la parte superior aparece también toda la información relativa a la muestra, a saber, el nombre de la persona que envió la muestra, el lugar en el que se tomó la muestra, la fecha en que se tomó y la fecha en la que el laboratorio recibió la muestra. Se incluirá también el nombre de la muestra proporcionada, por ejemplo, “fregadero de cocina”. Si en la botella de la muestra se escribió un número, esa información también debería aparecer en el informe.

La parte principal del informe contendrá una serie de columnas que suelen incluir: Parámetro (Analito), Unidades, Resultado, Límite de Detección (LD) y Método.

La columna Parámetro indica lo que la muestra analizó e incluirá la lista de parámetros que se solicitaron de forma específica. En algunos casos, los laboratorios tienen series de pruebas estándar para el agua potable, de modo que la lista incluirá todos los parámetros correspondientes a esa serie de pruebas si fue así como se solicitó el análisis de la muestra.

La columna Unidades indica las unidades en que se expresan los resultados del análisis y el límite de detección. Las unidades más frecuentes son miligramos por litro (mg/L) o, a veces, microgramos por litro ( $\mu\text{g/L}$ ). Tal como se explicó en el Capítulo 4, 1 mg/L equivale a 1 parte por millón (ppm). Por lo tanto, las unidades se pueden expresar también en ppm. En el caso de las pruebas para microorganismos, como coliformes totales o *E. coli*, las unidades indican el número de Unidades Formadoras de Colonias por 100 ml (que se abrevia como UFC/100mL). Si el laboratorio utiliza un método de presencia/ ausencia para analizar un parámetro particular, las unidades indicarán P/A.

El Resultado puede indicar un número exacto; se trata del resultado del análisis que

muestra la concentración real de la sustancia en la muestra de agua. Si el resultado indica “<” seguido de un número, esto significa que la concentración de la sustancia en el agua estaba por debajo del límite de detección que utiliza el equipo del laboratorio para analizar la sustancia de conformidad con el método estándar para la prueba. La columna Límite de Detección indica el límite de detección del equipo utilizado por el laboratorio para cada parámetro individual.

La columna Método indica el método estándar que utiliza el laboratorio para analizar la muestra para cada parámetro específico.

### 9.3 Resultados del análisis

Tal como se ha mencionado más arriba, el análisis de los resultados de las pruebas puede ser realizado por el especialista en calidad del agua o, en ciertos casos, por el operador del microsistema. La primera etapa se ha descrito también más arriba, esto es, revisar la información de la muestra para comprobar que los resultados del análisis que se han proporcionado corresponden al microsistema en cuestión. El paso siguiente consiste en comparar minuciosamente los resultados del análisis de la muestra con la concentración máxima permisible (CMP) establecida en las Recomendaciones vigentes para la calidad del agua potable en Canadá. Esta información se puede encontrar en el sitio web del Ministerio de Salud de Canadá. Además, se puede solicitar a un especialista en calidad del agua. Dado que los parámetros analizados serán los mismos con el tiempo, el manual de funcionamiento y mantenimiento preparado por un especialista en calidad del agua para el microsistema también debería indicar qué parámetros deben analizarse, junto con sus correspondientes CMP.

Los primeros parámetros que han de examinarse son los parámetros microbiológicos: coliformes totales y *E. coli*. La recomendación para estos dos parámetros es 0 UFC/100mL.

Para los sistemas muy pequeños con un sistema de distribución mínimo o inexistente, podrían aplicarse las siguientes recomendaciones:

Ninguna muestra debería contener *E. coli*. Tal como se explicó en el Capítulo 8, la presencia de *E. coli* indica contaminación fecal y la posible presencia de patógenos entéricos, por lo que el agua no es apta para el consumo. Si se detecta *E. coli*, se debería emitir un aviso de seguridad para que se hierva el agua y tomar medidas correctivas.

Ninguna muestra debería contener coliformes totales. La presencia de coliformes totales no significa necesariamente que deba emitirse inmediatamente un aviso para que se hierva el agua, pero deberían volverse a tomar muestras y/o adoptar otras medidas correctivas.

En el agua de pozo no desinfectada, la presencia de bacterias coliformes totales en ausencia de *E. coli* indica que el pozo pueda ser propenso a sufrir infiltraciones de agua superficial, por lo que existe el riesgo de contaminación fecal. En los sistemas de agua desinfectada, la presencia de bacterias coliformes totales indica un posible fallo en el proceso de desinfección. En los sistemas de agua tanto desinfectada como no desinfectada, la detección de coliformes totales también puede indicar la presencia de una biopelícula en el pozo o sistema de tuberías. Una biopelícula es una comunidad de microorganismos que se adhieren a una superficie sólida, como la pared interior de un conducto, en un entorno acuático.

#### Sabía que:

En altitudes por encima de los 2.000 metros, el agua hierve a temperaturas ligeramente inferiores. Por consiguiente, a esas alturas se debe hervir el agua durante dos minutos para matar los organismos que causan enfermedades.

Aunque la presencia de una biopelícula no constituya en sí misma un problema para la salud humana, podría interferir con las pruebas analíticas. Asimismo, con el tiempo podría impedir el flujo de agua, pudiendo causar el deterioro de la calidad estética del agua y, en última instancia, crear problemas de olor y sabor.

#### Avisos de hervir el agua

Tal como se ha mencionado más arriba, ante la posibilidad de una contaminación microbiológica, deberían emitirse avisos de seguridad para que se hierva el agua, o utilizar una fuente alternativa segura para consumir agua, en los siguientes casos:

- Si el suministro de agua no está desinfectado y está contaminado con coliformes totales o *E. coli*.
- Si el suministro de agua está desinfectado y el agua que sale del sistema de tratamiento no tiene cloro residual o está contaminada con coliformes totales o *E. coli*.

Cuando se emite un aviso para que se hierva el agua, es necesario hervir previamente el agua utilizada para beber, preparar alimentos, bebidas o cubitos de hielo, lavar las frutas y verduras o cepillarse los dientes. Las personas deben entender que, hasta nuevo aviso, no pueden beber o utilizar el agua a menos que se haya hervido.

Se recomienda emitir un aviso para que se hierva el agua solamente como medida temporal mientras se identifican y solucionan los problemas.

Si se detectan coliformes totales pero no *E. coli*, será necesario volver a tomar muestras y adoptar medidas correctivas. Entre las medidas correctivas podrían incluirse la cloración de choque (la adición de una solución fuerte de cloro líquido a un sistema de agua potable para reducir la presencia de contaminantes microbiológicos) y la limpieza por descarga de agua del pozo y/o sistema de distribución.

Si no existen pruebas que sugieran contaminación fecal, puede no ser necesario emitir un aviso de seguridad para que se hierva el agua.

#### 9.4 Responsabilidad y mantenimiento de registros

Controlar todos los aspectos relativos al funcionamiento y conformidad de un sistema de agua potable es un elemento importante para poder verificar continuamente que el agua se puede consumir sin peligro y que se está cumpliendo el plan operacional. Es también igual de importante asumir la responsabilidad de los registros relativos a todas estas actividades. Esta responsabilidad incluye contar con un sistema de gestión de documentos que garantice el mantenimiento adecuado de los documentos y el acceso fácil a los mismos.

La documentación es una herramienta importante para verificar que se están realizando las actividades de capacitación y que se han tomado las medidas correctivas necesarias. Asimismo, ayuda a hacer un seguimiento de las mejoras continuas en las operaciones y/o políticas. Disponer de una documentación completa es también un requisito fundamental en caso de que se exija a un operador o gerente demostrar que ha actuado con toda la debida diligencia a la hora de utilizar el sistema para producir y suministrar agua potable.

Por último, una documentación correctamente mantenida permite realizar un proceso de inspección con mayor eficacia y utilidad. Las inspecciones basadas en registros de

buena calidad pueden permitir realizar mejoras en las estrategias de gestión y funcionamiento operativo utilizadas para suministrar agua potable segura.

El mantenimiento de registros precisos y accesibles sobre las actividades de control y los análisis es importante. No obstante, éstos no son los únicos registros que han de mantenerse. Debe existir documentación también para realizar un seguimiento del emplazamiento y condición del equipo de tratamiento, el sistema de distribución y las sustancias químicas de tratamiento/limpieza y piezas de recambio conexas. A continuación se indican algunos ejemplos de tipos de registros que deben mantenerse habitualmente:

- Resultados de los análisis de calidad del agua: análisis de referencia y todos los análisis bacterianos y químicos en curso, todos los niveles registrados de cloro residual y turbidez.
- Un resumen de los resultados analíticos obtenidos durante el año, en formato de cuadro.
- Informes sobre la calidad del agua potable procedente del sistema municipal (si la instalación recibe agua abastecida por la red municipal).
- Correspondencia e informes relativos a cualquier incidente, incluidas las medidas correctivas y de emergencia, avisos de seguridad para que se hierva el agua, cloración de choque, etc. Un registro de todas las medidas correctivas adoptadas en el marco de los controles operacionales, o en casos en los que el análisis de una muestra indicara que el agua superaba cualquiera de las CMP.
- Informes de evaluación (como evaluación de vulnerabilidades, estudio sanitario, estudio/programa de control interconexiones, planes de gestión del agua potable, etc.)
- Informes de procedimientos operacionales, análisis o protocolos internos (comunicación, almacenamiento in situ de los productos químicos, etc.)
- Informes relativos a la infraestructura y mantenimiento, entre otros:
  - Resultados de los análisis de calidad del agua: análisis de referencia y todos los análisis bacterianos y químicos en curso, todos los niveles registrados de cloro residual y turbidez.
- Un resumen de los resultados analíticos obtenidos durante el año, en formato de cuadro.
- Informes sobre la calidad del agua potable procedente del sistema municipal (si la instalación recibe agua abastecida por la red municipal).
- Correspondencia e informes relativos a cualquier incidente, incluidas las medidas correctivas y de emergencia, avisos de seguridad para que se hierva el agua, cloración de choque, etc. Un registro de todas las medidas correctivas adoptadas en el marco de los controles operacionales, o en casos en los que el análisis de una muestra indicara que el agua superaba cualquiera de las CMP.
- Informes de evaluación (como evaluación de vulnerabilidades, estudio sanitario, estudio/programa de control interconexiones, planes de gestión del agua potable, etc.)
- Informes de procedimientos operacionales, análisis o protocolos internos (comunicación, almacenamiento in situ de los productos químicos, etc.)

- Informes relativos a la infraestructura y mantenimiento, entre otros:
  - Planos de construcción
  - Planos del sistema de tuberías
  - “Fichas de mantenimiento” (estos documentos deben contener información sobre cada una de las piezas de equipo del sistema de agua, entre otros, la fecha y condiciones de instalación, tipos de material, un registro de los problemas de servicio y/o rendimiento y costos de funcionamiento y mantenimiento)
  - Calendario de las actividades rutinarias de funcionamiento y mantenimiento para el sistema de distribución y equipo de tratamiento
  - Manuales de funcionamiento y mantenimiento
  - Información y especificaciones del fabricante para cada pieza del equipo
- Registros de la capacitación recibida, incluidos los resultados de exámenes, pertinencia de la capacitación y validación de la fuente de capacitación
- Informes del inspector (inspecciones internas y externas)



## 10 Dónde obtener ayuda

### 10.1 Introducción

En este curso se ha examinado una gran cantidad de información como las diferentes fuentes de agua, los contaminantes que pueden encontrarse en esas fuentes de agua, los distintos métodos de tratamiento del agua para eliminar los contaminantes, la gama de herramientas que se pueden utilizar para comprender el sistema por completo desde la fuente hasta el grifo, el monitoreo, el muestreo, los análisis y los informes. Se han abordado además ciertas nociones básicas de matemáticas y química pertinentes para los sistemas de agua. Se trata de una gran cantidad de información para memorizar y, aún más, para ponerla en práctica y aprenderla de verdad. Existen varias formas de poner en práctica todos estos conocimientos, pero la mejor de ellas es quizás examinar de cerca el sistema de agua y entender cómo llega el agua desde su fuente hasta el grifo que llenará el vaso de agua. Este proceso lo ayudará no sólo a poner en práctica parte de los conocimientos que acaba de adquirir, sino también a identificar los lugares y situaciones que podrían presentar riesgos para la seguridad del agua y las medidas que puede tomar para responder a esos riesgos.

Suministrar agua potable segura es una labor compleja que puede sobrepasar fácilmente las capacidades de cualquier persona. Por ello, es importante que conozca sus limitaciones. Aunque nada puede garantizarle que cada una de las decisiones que tome será acertada, utilizar las herramientas e información que tiene a su disposición lo ayudará dotándolo de una habilidad crítica, a saber, la capacidad de reconocer cuándo una situación supera su nivel de competencias. Entender los límites de sus conocimientos significa que estará dispuesto a pedir ayuda cuando la necesite, lo que le dará la confianza necesaria para declarar que el agua no es segura si tiene cualquier duda sobre su potabilidad.

Una de las herramientas más importantes que debe tener en cuenta es la preparación, esto es, estar listo para responder a la mayoría de las situaciones. Para estar preparado puede hacer algo tan sencillo como examinar uno de los dispositivos del tren de tratamiento y plantearse preguntas del tipo “¿Qué hay que hacer si ese indicador luminoso se enciende?”, “¿Qué significan las lecturas en el indicador de presión?” o, desde una perspectiva de monitoreo, “¿Qué se debería hacer si los informes de un análisis indican que el valor de uno de los parámetros supera la concentración máxima permisible para ese parámetro?”. Si no sabe cómo responder a la pregunta, no aventure una respuesta. Hay todo un equipo de personas a las que puede solicitar ayuda, entre otros, el especialista en calidad del agua, otros operadores de microsistemas, oficiales de higiene y seguridad, socios provinciales en el ámbito de la calidad del agua y representantes del fabricante. Conviene no sólo pedir ayuda y consejos a estas personas, sino también preguntarles si es posible comunicarse con ellas en caso de emergencia para solicitarles su opinión, y mantener al día su información de contacto.

En las siguientes secciones se ofrecen varias ideas sobre los lugares o personas a los que se puede dirigir para encontrar la respuesta a algunas de estas preguntas.

## 10.2 Equipo

Todos los microsistemas tienen equipos que incluyen, como mínimo, una bomba y una serie de tuberías y válvulas. En muchos casos el sistema incluirá algún tipo de equipo de tratamiento para eliminar los contaminantes del agua. En este curso ya se han estudiado tanto los contaminantes que puede contener el agua como los dispositivos de tratamiento disponibles para eliminarlos. Es de máxima importancia asegurar un funcionamiento y mantenimiento adecuados del equipo para garantizar la producción y suministro de agua potable segura.

Existen diversas fuentes de información que pueden ser útiles con relación al funcionamiento y mantenimiento de este equipo. La primera de ellas es el manual del operador incluido en el equipo. Lea este manual para entender bien cómo funciona y cómo debe mantener el equipo. Si algunas de las instrucciones no son claras, llame al fabricante o al instalador para que se las aclare. Asimismo, este manual explica los principios generales de los distintos tipos de equipo de tratamiento que deberían ayudarlo a entender cómo funcionan y cuáles son sus limitaciones. Puede que haya también otros operadores de microsistemas que están familiarizados con los mismos tipos de equipo y que pueden aconsejarle en cuanto a su funcionamiento y mantenimiento. Anote los procedimientos regulares de funcionamiento y mantenimiento para todo el equipo del microsistema. Esto lo ayudará no sólo a entender la información al escribirla, utilizando términos y un lenguaje familiar, sino que además constituirá una lista de verificación que puede utilizar en su programa de mantenimiento regular.

Algunos problemas del equipo son fáciles de solucionar. Por ejemplo, es posible que todo lo que deba hacer es agregar sal al suavizador de agua (un dispositivo de intercambio iónico) cuando el nivel del depósito de salmuera es bajo o cambiar la bombilla del sistema de desinfección por luz ultravioleta cuando el indicador luminoso parpadea.

Otros problemas pueden ser más complicados de solucionar. Por ejemplo, el clorador podría dejar de funcionar o es posible que los controles del equipo dejen de responder. Es una buena idea preparar un plan por adelantado para responder a algunos de estos problemas frecuentes. Parte del plan podría ser solicitar los servicios de expertos. No dude en hacerlo. Su trabajo consiste en ayudar a los operadores del microsistema a cumplir con su labor de proporcionar agua potable.

El desgaste del equipo del microsistema con el paso del tiempo provocará inevitablemente algunos problemas. Lo primero que debe hacer es identificar la causa del problema. El manual del operador y otras fuentes de información pueden serle útiles. No obstante, en ocasiones, aunque disponga de toda la información, no podrá identificar de forma inmediata el problema. Cuando esto ocurra, póngase en contacto con un especialista en calidad del agua o con el profesional que le instaló el equipo para ayudarlo a determinar la causa del problema. Una vez que se haya identificado el problema en cuestión, la solución puede ser obvia o también puede que sea necesario recurrir a los servicios de un especialista para idear una solución.

Tal como se indicó en la introducción más arriba, resulta útil pensar en las situaciones operacionales y de emergencia que podrían surgir. Encuentre una solución para cada situación y póngala por escrito. A continuación, identifique los nombres e información de contacto de las personas que podrían ayudarlo, compruebe con ellas si efectivamente están dispuestas a hacerlo y anote su información de contacto. Repase periódicamente

esta lista de posibles problemas, soluciones y personas de contacto para mantenerla al día.

### 10.3 Sistema de distribución

La mayoría de los microsistemas cuentan con un sencillo sistema de distribución del agua consistente en un conjunto de tuberías y válvulas. Es posible que existan también otros dispositivos en el sistema de distribución como bebederos de agua potable y fregaderos para el servicio de limpieza. La mayoría de estos aparatos son fáciles de mantener, pero pueden surgir problemas.

Póngase inmediatamente en contacto con un especialista en calidad del agua si detecta alguna anomalía, como cambios de presión o fugas en el sistema de distribución, o algún cambio en la calidad del agua. Si es necesario realizar reparaciones o cambios en el sistema de distribución, debería contratar a un profesional cualificado.

### 10.4 Monitoreo

Controlar la calidad del agua es un paso importante para garantizar el suministro de agua potable segura. Este monitoreo puede ser realizado de forma conjunta por un equipo de personas, de tal modo que la persona in situ se encarga de tomar muestras y poner en práctica las medidas correctivas, mientras que un especialista en calidad del agua se hace cargo de analizar los resultados de las pruebas e indicar las medidas correctivas que han de tomarse. En otras situaciones, la persona in situ puede ser responsable de todas estas acciones. En cualquier caso, las *Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá* constituyen la base para determinar la seguridad del agua. Estas recomendaciones se actualizan periódicamente teniendo en cuenta los nuevos conocimientos científicos, por lo que debe consultar regularmente el sitio web del Ministerio de Salud de Canadá para obtener la versión más reciente.

Una de las funciones más importantes relacionadas con la protección de la salud pública, consiste en monitorear el agua tratada para detectar la presencia de microorganismos, puesto que pueden presentar riesgos graves para la salud. Para ello se hace un control para detectar la presencia de organismos indicadores, a saber, coliformes totales y *E. coli*.

**Fig 10.1** Los microorganismos representan el principal riesgo para la salud



Por lo general, los parámetros químicos sólo resultan preocupantes cuando exceden las concentraciones máximas permisibles especificadas en las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá. Es posible que algunos de estos parámetros químicos no respondan a criterios de salud, pero son importantes para garantizar el buen funcionamiento del microsistema. Para saber más al respecto, consulte a un especialista en calidad del agua y visite el sitio web del Ministerio de Salud de Canadá en el que encontrará documentos técnicos publicados para los distintos parámetros.

En el Capítulo 8 de este manual se ofrece información sobre cómo elaborar un programa de monitoreo y cómo tomar muestras. El Capítulo 9 proporciona información sobre los análisis y los informes, que debería discutir también con el especialista en calidad del agua, con el que comparte la responsabilidad del microsistema. Tal como se ha indicado en el Capítulo 8, se puede encontrar más información sobre el muestreo en el módulo de capacitación del DVD sobre procedimientos para llevar a cabo muestreos de agua en instalaciones federales.

Las muestras de agua deben ser enviadas para su análisis a un laboratorio acreditado. Si no es posible hacerlo y se utiliza un kit portátil de prueba, debe asegurarse de que exista un protocolo adecuado de aseguramiento o control de la calidad. Si tiene alguna pregunta sobre los resultados de los análisis de las muestras, póngase en contacto inmediatamente con el especialista en calidad del agua responsable o el personal de la instalación encargado de la higiene y seguridad. Si el microsistema está situado en una comunidad de las Primeras Naciones, llame al oficial de higiene ambiental.

Nunca suponga que los resultados de laboratorio están equivocados o que cualquier contaminante detectado en el agua no entraña peligro y el agua es segura. Los microorganismos pueden ser especialmente dañinos para la salud humana y el problema debe ser resuelto inmediatamente. Cuando surja una emergencia o cuando se determine que el agua no es apta para el consumo, deberá emitirse de forma inmediata el correspondiente aviso de seguridad relativo al agua.

### 10.5 Procedimientos normalizados de trabajo

Es posible que se hayan preparado procedimientos normalizados de trabajo (PNT) para orientar todas las actividades relacionadas con el funcionamiento y mantenimiento del microsistema. Los PNT son básicamente una lista de instrucciones que han de seguirse para abordar un tema o cuestión específicos. Por ejemplo, puede que exista un PNT sobre la frecuencia con que deben tomarse las muestras y a dónde deben enviarse. Debería haber también un PNT relativo al modo en que debe emitirse un aviso de seguridad para que se hierva el agua. Asimismo, puede que exista un PNT sobre el mantenimiento y gestión de registros. El número y el alcance de los PNT dependerá del emplazamiento del microsistema y de quién tenga la responsabilidad al respecto. Estas exigencias pueden variar, puesto que el microsistema podría estar situado en lugares tan diversos como un buque de la guardia costera, un cruce fronterizo, una misión diplomática en el extranjero, un destacamento de la RPMC, un centro del Ministerio de Agricultura y Agroalimentación de Canadá o una comunidad de las Primeras Naciones. Si existen, debe seguir los PNT específicos de su ministerio, instalación o comunidad.

## 10.6 Educación continua

Este curso de capacitación ofrece información esencial para entender y operar un microsistema. No obstante, esto no significa que los alumnos que sigan el curso se conviertan con ello en expertos. La información facilitada en este curso se debe combinar con una experiencia práctica que permita aplicar los conocimientos adquiridos. Esta combinación de aprendizaje mediante la práctica y la adquisición de conocimientos gracias a este curso es un elemento importante de cualquier proceso educativo. Reviste una importancia particular en el ámbito de la calidad del agua en el que se deben tener en cuenta un gran número de componentes interactivos.

A medida que adquiera más confianza en el área de los microsistemas, puede ser fácil pensar que ha aprendido todo lo que necesita saber y que es capaz de hacer frente a cualquier situación que pueda surgir. Sin embargo, uno de los elementos necesarios para estar preparado es la educación continua, esto es, asegurarse de actualizar y mantener al día sus conocimientos y competencias. A continuación le indicamos algunas sugerencias al respecto.

- Manténgase al corriente de las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá, y de cómo funcionan y deben mantenerse los sistemas de tratamiento del agua.
- Familiarícese con el sitio web del Ministerio de Salud de Canadá sobre la calidad del agua. En él encontrará numerosos documentos de referencia útiles y una gran cantidad de información lista para usar.
- Establezca iniciativas de cooperación con otras instalaciones y comunidades que también utilizan microsistemas, y encuentre herramientas para ayudarlo a implementar buenas prácticas de gestión del agua potable.
- Averigüe quién ofrece en su zona capacitación para los operadores de sistemas de tratamiento de agua provinciales y compruebe si hay cursos que puedan interesarle o serle útiles.
- Por lo general, los organismos provinciales responsables del sector de la salud ofrecen información sobre la calidad del agua y pueden ser un recurso útil para aprender más acerca de los contaminantes presentes en el agua.

**No se aventure. No se arriesgue. Está en juego la salud de las personas de su instalación o su comunidad. Haga preguntas. Obtenga respuestas. Y opere su microsistema con confianza.**



## Apéndice A:

### Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá

(Información extraída del sitio web del Ministerio de Salud de Canadá, marzo de 2011)

Las Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá son actualizadas regularmente por el Comité Federal-Provincial-Territorial sobre el Agua Potable. En la siguiente dirección Internet puede consultar la versión más reciente de las recomendaciones: [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/2010-sum\\_guide-res\\_recom/index-eng.php](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/2010-sum_guide-res_recom/index-eng.php) (enlace comprobado en marzo de 2011)

**Cuadro 1:** Recomendaciones nuevas y revisadas

Parámetro	Recomendación (mg/L)	Recomendación anterior (mg/L)	Aprobación del CSME*
<b>Parámetros microbiológicos<sup>a</sup></b>			
Bacteriológicos		0 coliformes/100 mL	
E.coli	0 por 100 mL		2006
Coliformes totales	0 por 100 mL		2006
Recuento de placas heterotróficas	Sin recomendación numérica		2006
Patógenos emergentes	Sin recomendación numérica		2006
Protozoos	Sin recomendación numérica	Ninguna	2004
Virus entéricos	Sin recomendación numérica	Ninguna	2004
Turbidez	0,3/1,0/0,1 NTU <sup>b</sup>	1,0 NTU	2004
<b>Parámetros químicos y físicos</b>			
Aluminio	0,1/0,2 <sup>c</sup>	Ninguna	1999
Antimonio	0,006	Ninguna	1997
Arsénico	0,01	0,025	2006
Benceno	0,005	0,005	2009
Bromato	0,01	Ninguna	1999
Clorato	1	Ninguna	2008
Cloro	Sin recomendación numérica	Ninguna	2009
Clorito	1	Ninguna	2008
Toxinas cianobacterianas–microcistina-LR	0,0015	Ninguna	2002
Fluoruro	1,5	1,5	1996

Parámetro	Recomendación (mg/L)	Recomendación anterior (mg/L)	Aprobación del CSME*
Formaldehído	Sin recomendación numérica	Ninguna	1998
Ácidos haloacéticos–Total (AHA)	0,08	Ninguna	2008
Ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCPA)	0,1	Ninguna	2010
Éter metil-terciario-butílico (MTBE)	0,015	Ninguna	2006
Tricloroetileno (TCE)	0,005	0,05	2005
Trihalometanos–Total (THM) <sup>d</sup>	0,1	0,1	2006
Uranio	0,02	0,1	2000
<b>Parámetros radiológicos</b>			
Cesio-137 ( <sup>137</sup> Cs)	10 Bq/L	10 Bq/L	2009
Yodo-131 ( <sup>131</sup> I)	6 Bq/L	6 Bq/L	2009
Plomo-210 ( <sup>210</sup> Pb)	0,2 Bq/L	0,1 Bq/L	2009
Radio-226 ( <sup>226</sup> Ra)	0,5 Bq/L	0,6 Bq/L	2009
Estroncio-90 ( <sup>90</sup> Sr)	5 Bq/L	5 Bq/L	2009
Tritio ( <sup>3</sup> H)	7000 Bq/L	7000 Bq/L	2009

<sup>a</sup> Véase la sección de las Recomendaciones relativa a los parámetros microbiológicos.

<sup>b</sup> Basado en tratamiento convencional/filtración lenta con arena o filtración con tierra diatomea/filtración por membrana.

<sup>c</sup> Se trata de un valor operacional recomendado, concebido para ser utilizado solamente en el caso de las plantas de tratamiento de agua potable que utilizan coagulantes a base de aluminio. El valor operacional recomendado de 0,1 mg/L se aplica a las plantas de tratamiento convencional, mientras que el valor 0,2 mg/L se aplica a otros tipos de sistemas de tratamiento.

<sup>d</sup> La recomendación separada para el BDCM fue abolida teniendo en cuenta la publicación de nuevos estudios científicos. Véase el adenda al documento sobre los THM. En algunos casos, el Comité Federal-Provincial-Territorial sobre el Agua Potable puede decidir elaborar documentos de consejos: para los contaminantes que no reúnen los criterios establecidos para la elaboración de una recomendación, y para las cuestiones específicas para las que resultan necesarios consejos relativos a la operación o gestión.

\* CSME: Comité Federal-Provincial-Territorial sobre la Salud y el Medio Ambiente

**Cuadro 2:** Recomendaciones en materia de salud y de carácter estético para los parámetros químicos y físicos

Parámetro	CMP (mg/L)	OE [o VOR] (mg/L)	Año de aprobación (o de reafirmación)
Aldicarb	0,009		1994
Aldrina + dieldrina	0,0007		1994
Aluminio <sup>a</sup>		[0,1/0,2]	1998
*Antimonio <sup>b</sup>	0,006		1997
Arsénico	0,01		2006

Parámetro	CMP (mg/L)	OE [o VOR] (mg/L)	Año de aprobación (o de reafirmación)
*Atrazina + metabolitos	0,005		1993
Azinfos-metil	0,02		1989 (2005)
Bario	1		1990
Bendiocarbo	0,04		1990 (2005)
Benceno	0,005		2009
Benzo[a]pireno	0,00001		1988 (2005)
*Boro	5		1990
*Bromato	0,01		1998
*Bromoxinil	0,005		1989 (2005)
Cadmio	0,005		1986 (2005)
Carbaril	0,09		1991 (2005)
Carbofurano	0,09		1991 (2005)
Tetracloruro de carbono	0,005		1986
Cloraminas-total	3		1995
Clorato	1		2008
Cloruro		=250	1979 (2005)
Clorito	1		2008
Clorpirifos	0,09		1986
Cromio	0,05		1986
Color <sup>d</sup>		=15 UCV	1979 (2005)
Cobre <sup>b</sup>		=1,0	1992
*Cianazina	0,01		1986 (2005)
Cianuro	0,2		1991
Toxinas cianobacterianas-- Microcistina-LR <sup>c</sup>	0,0015		2002
Diazinón	0,02		1986 (2005)
Dicamba	0,12		1987 (2005)
1,2-Diclorobenceno <sup>e</sup>	0,2	=0,003	1987
1,4-Diclorobenceno <sup>e</sup>	0,005	=0,001	1987
*1,2-Dicloroetano	0,005		1987
1,1-Dicloroetileno	0,014		1994
Diclorometano	0,05		1987
2,4-Diclorofenol	0,9	=0,0003	1987 (2005)
*Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4 -D)	0,1		1991
Diclofop-metil	0,009		1987 (2005)
*Dimetoato	0,02		1986 (2005)
Dinoseb	0,01		1991
Dicuat	0,07		1986 (2005)
Diurón	0,15		1987 (2005)
Etilbenceno		=0,0024	1986 (2005)
Fluoruro	1,5		1996

Parámetro	CMP (mg/L)	OE [o VOR] (mg/L)	Año de aprobación (o de reafirmación)
*Glifosato	0,28		1987 (2005)
Ácidos haloacéticos-Total (AHA)	0,08		2008
Hierro		=0,3	1978 (2005)
Plomo <sup>b</sup>	0,01		1992
Malatión	0,19		1986 (2005)
Manganeso		=0,05	1987
Mercurio	0,001		1986
Metoxicloro	0,9		1986 (2005)
Ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCPA)	0,1		2010
Éter metil-terciario-butílico (MTBE)		0,015	2006
*Metolaclor	0,05		1986
Metribuzin	0,08		1986 (2005)
Monoclorobenceno	0,08	=0,03	1987
Nitrato <sup>f</sup>	45		1987
Ácido nitriotriacético (NTA)	0,4		1990
Olor		Inofensivo	1979 (2005)
*Paraquat (como dicloruro) <sup>g</sup>	0,01		1986 (2005)
Paratión	0,05		1986
Pentaclorofenol	0,06	=0,030	1987 (2005)
pH <sup>h</sup>		6.5-8.5	1995
Forato	0,002		1986 (2005)
*Picloram	0,19		1988 (2005)
Selenio	0,01		1992
*Simazina	0,01		1986
Sodio <sup>i</sup>		=200	1992
Sulfato <sup>j</sup>		=500	1994
Sulfuro (como H <sub>2</sub> S)		=0,05	1992
Sabor		Inofensivo	1979 (2005)
Temperatura		=15°C	1979 (2005)
*Terbufos	0,001		1987 (2005)
Tetracloroetileno	0,03		1995
2,3,4,6-Tetraclorofenol	0,1	=0,001	1987 (2005)
Tolueno		=0,024	1986 (2005)
Total de Sólidos Disueltos (TSD)		=500	1991
Tricloroetileno	0,005		2005
2,4,6-Triclorofenol	0,005	=0,002	1987 (2005)
*Trifluralina	0,045		1989 (2005)
Trihalometanos-total (THM) <sup>k</sup>	0,1		2006
Turbidez			2004
*Uranio	0,02		1999

Parámetro	CMP (mg/L)	OE [o VOR] (mg/L)	Año de aprobación (o de reafirmación)
Cloruro de vinilo	0,002		1992
Xilenos-total		=0,3	1986 (2005)
Cinc <sup>b</sup>		=5,0	1979 (2005)

<sup>a</sup> Se trata de un valor operacional recomendado, concebido para ser utilizado solamente en el caso de las plantas de tratamiento de agua potable que utilizan coagulantes a base de aluminio. El valor operacional recomendado de 0,1 mg/L se aplica a las plantas de tratamiento convencional, mientras que el valor 0,2 mg/L se aplica a otros tipos de sistemas de tratamiento.

<sup>b</sup> Se debe dejar correr abundantemente el agua del grifo antes de consumirla o analizarla.

<sup>c</sup> Se considera que esta recomendación protege la salud humana contra la exposición a todas las microcistinas que puedan estar presentes en el agua.

<sup>d</sup> UCV = Unidad de Color Verdadero.

<sup>e</sup> En los casos en los que la concentración medida de diclorobencenos totales es superior al valor más riguroso (0,005 mg/L), debería establecerse la concentración de los isómeros individuales.

<sup>f</sup> Equivale a 10 mg/L de nitrógeno nítrico. Cuando los nitratos y nitritos se determinan por separado, los niveles de nitrito no deberían superar 3,2 mg/L.

<sup>g</sup> Equivale a 0,007 mg/L en el caso del ión paraquat.

<sup>h</sup> Sin unidades.

<sup>i</sup> Se recomienda incluir el sodio en los programas de vigilancia rutinaria, puesto que sus concentraciones pueden interesar a los médicos que desean prescribir a sus pacientes dietas bajas en sodio.

<sup>j</sup> Puede aparecer un efecto laxativo en algunas personas cuando los niveles de sulfato son superiores a 500 mg/L.

<sup>k</sup> Expresado como media móvil anual. Esta recomendación se basa en el riesgo asociado al cloroformo, el trihalometano que se encuentra con mayor frecuencia en el agua potable, y en la concentración más alta.

<sup>l</sup> Para obtener información sobre los distintos procesos de tratamiento, consultar la sección de las Recomendaciones relativa a los parámetros microbiológicos.

## Apéndice B:

### Unidades, conversiones y ejemplos de cálculos

Unidad SI:		Multiplicar por:	Para obtener:	
<b>Longitud:</b>				
mm	milímetro	0,04	pulgada	in
cm	centímetro	0,394	pulgada	in
m	metro	3,28	pie	ft
m	metro	1,1	yarda	yds
km	kilómetro	0,62	milla	mi
<b>Superficie:</b>				
cm <sup>2</sup>	centímetro cuadrado	0,16	pulgada cuadrada	in <sup>2</sup>
m <sup>2</sup>	metro cuadrado	1,2	yarda cuadrada	yd <sup>2</sup>
km <sup>2</sup>	kilómetro cuadrado	0,4	milla cuadrada	mi <sup>2</sup>
ha	hectárea (10,000m <sup>2</sup> )	2,5	acre	acrs
<b>Volumen:</b>				
mL	mililitro	0,03	onza de líquido	fl oz
l, L	litro	2,1	pinta	pt
l, L	litro	1,06	cuarto	qt
l, L	litro	0,26	galón	gal
m <sup>3</sup>	metro cúbico	35,0	pie cúbico	ft <sup>3</sup>
m <sup>3</sup>	metro cúbico	1,3	yarda cúbica	yd <sup>3</sup>
<b>Flujo:</b>				
l/s	litro/segundo	15,85	galones/minutos	gpm (US)
<b>Peso:</b>				
g	gramo	0,035	onza	oz
kg	kilogramo	2,2	libra	lbs
<b>Temperatura:</b>				
°C	Celsius	1,8 y agregar 32	Fahrenheit	°F
<b>Presión:</b>				
kPa	kilopascales	0,145	libras/pulgada <sup>2</sup>	psi
B	Bar (al nivel del mar)	14,5	libras/pulgada <sup>2</sup>	psi
B	Bar (a 1.000 pies por encima del nivel del mar)	14,1	libras/pulgada <sup>2</sup>	psi
B	Bar (a 2.000 pies por encima del nivel del mar)	13,67	libras/pulgada <sup>2</sup>	psi

**Factores de conversión**

1 pie cúbico de agua =	62,4 libras
1 pie cúbico de agua =	28,317 L
1 L de agua =	1 kg **
1 yarda cúbica =	27 pies cúbicos
1 acre =	43.560 pies cuadrados
1 psi =	2,31 pies de agua
1 mg/L =	1 ppm
1% =	10.000 mg/L ***
1 grano/galón US =	17,118 mg/l
1 HP =	550 pies-libras/segundo
1 HP =	0,746 kilovatios
1 kilovatio =	1,34 HP
$\pi$ (Pi) =	3,1416
** Observe que esto convierte el volumen de agua al peso de agua.	
*** e.g. solución del blanqueo del 5% = 50.000 mg/L	

**Factores de conversión**

	Galones US	Galones imperiales
1 pie cúbico de agua =	7,48 galones	6,23 galones
1 litro =	0,264 galones	0,22 galones
1 galón de agua =	8,34 libras	10,0 libras
1 MGD* =	694,4 gpm	694,4 gpm
1 MGD =	1,547 pcs	1,858 pcs
1 gpm =	0,00223 pcs	0,00268 pcs
1 pcs =	448,83 gpm	373,8 gpm

\* MGD = millones de galones por día

\* gpm = galones por minuto

\* cfs = pies cúbicos por segundo

Potencia de 10	Notación E	Equivalente decimal	Prefijo/Símbolo
$10^{12}$	E+12	1.000.000.000.000	tera T
$10^9$	E+09	1.000.000.000	giga G
$10^6$	E+06	1.000.000	mega M
$10^3$	E+03	1.000	kilo k
$10^2$	E+02	100	hecto h
10	E+01	10	deca da
$10^{-1}$	E-01	0,1	deci d
$10^{-2}$	E-02	0,01	centi c
$10^{-3}$	E-03	0,001	milli m
$10^{-6}$	E-06	0.000.001	micro u
$10^{-9}$	E-09	0,000.000.001	nano n
$10^{-12}$	E-12	0,000.000.000.001	pico p
$10^{-15}$	E-15	0,000.000.000.000.001	femto f
$10^{-18}$	E-18	0,000.000.000.000.000.001	atto a

### Ejemplos de cálculos

#### Ejemplos de conversiones:

Utilizando los cuadros de conversión incluidos más arriba, le presentamos a continuación algunos ejemplos de conversiones típicas.

**Problema:** Convertir 4 L/s (litros por segundo) a USGPM (galones US por minuto)

**Solución:**  $4 \text{ L/s} \times 0,264 \text{ galones US / L} \times 60 \text{ segundos / minuto} = 63,4 \text{ USGPM}$

**Problema:** Convertir una dureza de 10 granos/galón US a ppm

**Solución:**  $10 \text{ granos/galón US} \times 17,118 \text{ mg/L} / 1 \text{ grano/galón US} = 172 \text{ mg/L} = 172 \text{ ppm}$

**Problema:** Convertir  $\frac{3}{4}$  (0,75) HP (potencia de motor) a kilowatios

**Solución:**  $0,75 \text{ HP} \times 0,746 \text{ kilowatios / HP} = 0,56 \text{ kilowatios (560 watos)}$

**Problema:** Convertir 10 pies cúbicos a litros y peso en kilogramos

**Solución:**  $10 \text{ pies cúbicos} \times 28,317 \text{ L / pies cúbicos} = 283,2 \text{ L}$   
 $283,2 \text{ L} \times 1 \text{ kg / 1 L} = 283,2 \text{ kg}$

**Dilución:**

Preparar una solución desinfectante para fines de limpieza.

Suponiendo que 200 mg/L es una concentración adecuada para limpiar superficies y que desea preparar 4 litros de esta solución en un cubo, ¿cuánta solución blanqueadora al 5% tendría que agregar?

Recordatorio: esta pregunta utiliza la fórmula de dilución:

$$V1 \times C1 = V2 \times C2$$

Que se puede reorganizar para despejar la incógnita, V1:

$$V1 = V2 \times C2 / C1$$

Por consiguiente,  $V1 = 4 \text{ L} \times 200 \text{ mg/L} / 50.000 \text{ mg/L} = 0,016 \text{ L} = 16 \text{ ml}$  (unas 3 cucharitas)

Agregar 16 ml de solución blanqueadora al 5% en 4 litros de agua diluirá la solución concentrada para obtener una concentración final de 200 mg/L (200 ppm).

**Caudal:**

La capacidad de tratamiento recomendada por el fabricante para un filtro multimedio en el tren de tratamiento del microsistema es de 5.000 galones US. Una vez que el filtro haya tratado ese volumen, debe ser limpiado simplemente lavándolo a contracorriente, esto es, un proceso por el que se invierte el flujo del agua en el filtro. Si el caudal promedio que pasa por el filtro es de 1,2 USGPM, ¿cómo habría que ajustar el temporizador eléctrico que controla el inicio de cada ciclo de lavado a contracorriente?

El caudal mide el volumen por unidad de tiempo, expresado matemáticamente por la fórmula:

$$Q = V / T \text{ siendo:}$$

Q = caudal

V = volumen

T = tiempo

Los elementos de esta fórmula se pueden expresar en diferente orden para despejar el tiempo o el volumen:

$$T = V / Q \text{ or } V = Q \times T$$

En el ejemplo propuesto, se pregunta por el tiempo, por lo que la solución sería:

$T = V / Q = 5.000 \text{ galones (US)} / 1,2 \text{ USGPM} = 4.167 \text{ minutos} = 69 \text{ horas } 27 \text{ minutos}$   
o aproximadamente 2 días y 21 ½ horas.

## Ejemplos de preguntas generales

### Pregunta 1

¿Qué fuente de agua es más probable que contenga microorganismos potencialmente dañinos?

- a. Lagos y arroyos
- b. Agua de pozos profundos
- c. Agua embotellada
- d. Agua de la red de suministro municipal

### Pregunta 2

En el ciclo hidrológico, ¿cómo se llama el proceso por el que el agua empapa la tierra?

- a. Evaporación
- b. Infiltración
- c. Escorrentía
- d. Condensación

### Pregunta 3

¿Cuáles son las principales fuentes de bacterias nocivas transportadas por el agua que pueden causar problemas de salud en los humanos?

- a. Plantas
- b. Tubos digestivos de los humanos y de los animales
- c. Acuíferos profundos
- d. Aguas pluviales

### Pregunta 4

Los virus pueden recorrer distancias largas en los acuíferos.

- a. Verdadero
- b. Falso

### Pregunta 5

La dureza del agua se debe a:

- a. Los iones de calcio o magnesio
- b. Los iones de manganeso o hierro
- c. Un nivel de pH bajo
- d. Un valor elevado de turbidez

**Pregunta 6**

La alcalinidad es una medida de:

- a. El número de iones de hidrógeno en el agua
- b. La capacidad del agua de frenar los cambios en el pH
- c. El porcentaje de iones alcalinos en el agua
- d. La presencia de sales alcalinas disueltas

**Pregunta 7**

Un depósito de sedimentación es un dispositivo para ofrecer:

- a. Cloración
- b. Clarificación
- c. Desinfección UV
- d. Capacidad de monitoreo

**Pregunta 8**

El objetivo de la cloración de choque es:

- a. Eliminar sólidos en suspensión
- b. Matar microorganismos
- c. Eliminar iones de calcio
- d. Reducir la turbidez

Respuestas a los ejemplos de preguntas generales

### **Respuesta a la Pregunta 1**

La respuesta correcta es a: Lagos y arroyos. Las masas de agua superficial pueden estar contaminadas con desechos animales, plantas en descomposición y productos de desechos industriales y agrícolas.

### **Respuesta a la Pregunta 2**

La respuesta correcta es b: Infiltración.

### **Respuesta a la Pregunta 3**

La respuesta correcta es b: Tubos digestivos de los humanos y de los animales.

Los tubos digestivos de los humanos y de los animales son la principal fuente de bacterias que causan enfermedades transmitidas por el agua y estas bacterias se pueden encontrar en las heces.

### **Respuesta a la Pregunta 4**

La respuesta correcta es A. Los virus en los acuíferos pueden ser transportados lejos del lugar original de contaminación.

### **Respuesta a la Pregunta 5**

La respuesta correcta es A. Los iones de calcio y magnesio procedentes de depósitos geológicos naturales como la piedra caliza y la dolomita se disuelven en el agua y aumentan la dureza.

### **Respuesta a la Pregunta 6**

La respuesta correcta es b. Agregar productos químicos en el agua puede causar una gran alteración del pH. Una alcalinidad mayor suprime estos grandes cambios y le facilita el control del pH del agua.

### **Respuesta a la Pregunta 7**

La respuesta correcta es b. Clarificación. Un depósito de sedimentación permite sedimentarse a los sólidos en suspensión de mayor peso.

### **Respuesta a la Pregunta 8**

La respuesta correcta es b. Matar o inactivar microorganismos. Con un tiempo de contacto apropiado, este proceso debería ser adecuado para eliminar toda actividad biológica en el conducto de agua.

## Apéndice C:

### Cómo limpiar un dispensador de agua embotellada

Las siguientes instrucciones se refieren a a la limpieza de un dispensador de agua fría con un depósito descubierto o dispositivo antiderrame. Han sido extraídas del sitio web del Ministerio de Salud de Canadá. Consulte periódicamente el sitio web para comprobar los cambios que hayan podido realizarse en estas instrucciones.

#### **Para limpiar el depósito:**

Desenchufe el cable eléctrico del dispensador de agua. Quite la botella vacía.

Extraiga el agua del depósito(s) de acero inoxidable utilizando el grifo(s).

Si el dispensador de agua tiene un dispositivo antiderrame y/o pantalla extraíble, quítelos. Debería poder ver el interior del depósito.

Prepare una solución desinfectante agregando una cuchara (15 mL) de blanqueador de uso doméstico a un galón imperial (4,5 L) de agua. Utilice blanqueador de “calidad alimentaria”. Algunos blanqueadores para uso doméstico disponibles en el mercado contienen fragancias, espesantes u otros aditivos no autorizados para uso alimentario. No utilice blanqueadores perfumados o para ropa de color.

El blanqueador pierde eficacia con el tiempo, por lo que le recomendamos utilizar un producto comprado hace menos de cuatro meses. Los blanqueadores más antiguos pueden no ser lo suficientemente potentes para lograr una desinfección adecuada.

Algunas compañías sugieren utilizar una solución con una parte de vinagre y tres partes de agua para eliminar el sarro del depósito antes de limpiarlo con blanqueador. Consulte el manual. Es posible que pueda utilizar otras soluciones desinfectantes. Compruébelo con el proveedor de su dispensador de agua/manual.

Vierta la solución de blanqueador/otro desinfectante en el depósito.

Lave a fondo el depósito con la solución de blanqueador y déjela reposar por lo menos dos minutos (para que sea eficaz) pero no más de cinco minutos (para evitar la corrosión). Utilice un cepillo limpio de fregado para limpiar el interior del depósito. No utilice un estropajo de lana de acero, Brillo u otros abrasivos en el depósito puesto que dañaría el acabado, lo cual facilitará el crecimiento de bacterias.

Drene la solución blanqueadora/desinfectante del depósito utilizando el grifo(s). Enjuague a fondo el depósito con agua limpia del grifo, y drene el agua por el grifo para eliminar cualquier traza de la solución blanqueadora/desinfectante. Limpie y seque la pantalla/dispositivo antiderrame, y vuelva a colocarlos en su lugar. Puede que tenga que enjuagar el depósito varias veces para eliminar el sabor y olor de cloro.

#### **Para limpiar la bandeja recoge gotas (situada bajo los grifos):**

Levante la bandeja recoge gotas.

Quite la rejilla y lave con un detergente suave la bandeja y la rejilla.

Enjuáguelos a fondo con agua limpia del grifo y colóquelos de nuevo en el dispensador de agua.

**Para cambiar la botella:**

Lávese las manos con jabón y agua caliente antes de manipularla. Si decide utilizar guantes de protección limpios (por ej.: de látex), deséchelos o desinfectelos después de cada uso y antes de volver a utilizarlos.

Nota: Los guantes de protección no deben sustituir nunca un buen lavado de las manos y una higiene adecuada.

Limpie la parte superior y el cuello de la nueva botella con una servilleta de papel empapada en una solución de blanqueador doméstico (1 cucharada (15 ml) de cloro y 1 galón (4,5 L) de agua). Se puede utilizar también alcohol de fricción, pero debe asegurarse de que se haya evaporado por completo antes de colocar la botella en el dispensador.

Quite el tapón de la nueva botella sin tocar la superficie de la apertura para evitar cualquier contaminación.

Coloque la nueva botella en el dispensador de agua.

## Apéndice D

### Preguntas frecuentes

#### **¿El uso de un filtro de agua me permitirá desinfectar el agua?**

No, los filtros pueden eliminar una gran cantidad de organismos microbianos que provocan enfermedades pero no desinfectarán su agua. Para desinfectar el agua es necesario utilizar tecnologías como la ozonización, la cloración o la radiación ultravioleta (UV). Para obtener más información sobre la desinfección, consulte el Módulo 5 o el DVD sobre desinfección.

#### **¿Con qué frecuencia debemos realizar el muestreo para parámetros microbiológicos?**

Es necesario tener en cuenta numerosos factores a la hora de establecer un programa de muestreo, entre otros, la fuente del agua, el número de personas que consumen el agua y el tipo de desinfección empleado. Para obtener información adicional sobre cuestiones de monitoreo, consulte el documento *Consejos para suministrar agua potable en los sectores de competencia federal*.

#### **¿Es necesario hervir toda el agua cuando se emite un aviso u orden de hervir el agua?**

Cuando se emite un aviso o una orden de hervir el agua, debe hervir toda el agua utilizada para beber, preparar alimentos, bebidas, cubitos de hielo, lavar las frutas y verduras o cepillarse los dientes. Las personas con inmunodepresión grave siempre deben hervir su agua corriente para los fines de consumo indicados anteriormente. La leche artificial para lactantes debe prepararse siempre utilizando agua corriente hervida. Cuando no sea factible hervir el agua, su autoridad local de salud pública u otra autoridad responsable puede darle instrucciones para que desinfecte el agua con blanqueador de uso doméstico o para que utilice una fuente alternativa de suministro que sea segura.

No es necesario hervir el agua corriente utilizada para otros fines domésticos como ducharse, lavar la ropa, bañarse o lavar los platos. Los adultos, adolescentes y niños de mayor edad se pueden lavar, bañar o duchar en agua corriente sin hervir, aunque deben evitar tragar agua. A los lactantes y niños pequeños se les debe dar un baño de esponja. (Ministerio de Salud de Canadá - <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/boil-ebullition-eng.php>)

#### **La lectura de cloro es baja en ciertos lugares, ¿qué debo hacer?**

Si el edificio cuenta con suministro de agua municipal, y suponiendo que los niveles de cloro residual sean aceptables en otros lugares, repita la prueba en el lugar en cuestión. Si los resultados son bajos en el lugar en que el agua entra al edificio, póngase en contacto con el responsable del suministro de agua (ciudad/municipio).

Si se agrega desinfectante residual in situ, compruebe el equipo de desinfección.

Si el nivel residual de desinfectante es bajo repetidamente, puede que sea necesario

purgar las tuberías y revisar los patrones de consumo de agua (esto es, estancamiento del agua debido a un bajo consumo).

### **El agua en nuestra instalación suele tener buen gusto, pero esta mañana tenía mal gusto. ¿Qué debemos hacer?**

Si se trata de agua abastecida por el municipio, debe comunicarse inmediatamente con su autoridad responsable del suministro de agua. Si se trata de agua que usted mismo produce en la propia instalación, puede que haya un problema con su fuente de agua o es posible que su sistema de tratamiento no funcione correctamente. Debe ponerse en contacto con su especialista en calidad del agua e investigar la causa del problema. No debe beber el agua hasta que determine la causa o si el agua es segura. Si no consigue solucionar el problema con rapidez, deberá proporcionar una fuente alternativa de agua potable.

### **El agua aparece turbia cuando lleno el vaso y después se aclara al asentarse; ¿es apta para el consumo?**

La turbidez del agua es causada por la presencia de minúsculas burbujas de aire en el agua. La presión en las tuberías hace que el aire se disuelva en el agua. Cuando el agua sale del grifo, ya no está bajo presión y el aire que se había disuelto en el agua deja de ser soluble formando burbujas minúsculas. Cuando se vierte en un vaso, el agua turbia empezará a aclararse de abajo a arriba, ascendiendo lentamente el agua límpida desde el fondo del vaso.

Este tipo de turbidez ocurre más a menudo en el invierno cuando el agua corriente está fría, si el grifo cuenta con un aireador o si se ha realizado algún tipo de mantenimiento en una tubería. Esta agua es apta para el consumo.

### **Mi edificio es muy antiguo; ¿significa esto que mi agua corriente contiene plomo?**

No necesariamente. Un análisis del agua puede determinar si ésta contiene plomo. La presencia de plomo en el agua corriente depende de varios factores

- Edad del sistema de distribución – Los sistemas más antiguos pueden tener conductos de entrada de servicio de plomo (no típico en edificios), soldaduras o accesorios (grifos, válvulas) que contienen plomo.
- Composición química del agua – La agresividad del agua determinará si el plomo de las tuberías se filtra al agua.
- El tiempo que el agua permanece en las tuberías – Los niveles de plomo en el agua aumentarán cuanto más tiempo permanezca o esté estancada en las tuberías cuando no se utiliza durante varias horas, por ejemplo durante la noche o durante las horas de trabajo. Es menos probable que el agua de las tuberías que se utilizan con frecuencia contenga plomo.
- Si su proveedor de agua ha establecido un programa de control de la corrosión.

**Solicité a un laboratorio un análisis de coliformes totales pero como resultado recibí que el sobrecrecimiento de bacterias atípicas y *E. coli* es cero. ¿Por qué no se hacía referencia a los coliformes totales?**

Algunos laboratorios utilizan un procedimiento de filtración por membrana para analizar la presencia de coliformes totales en el agua, pero cuando se emplea este procedimiento el sobrecrecimiento de bacterias atípicas puede bloquear la detección de coliformes totales. No obstante, para *E. coli* se utiliza otro medio, por lo que sí se incluirán resultados al respecto en el informe. A continuación sugerimos varias medidas posibles:

1. Haga analizar una nueva muestra pero solicite que se haga una prueba de ausencia-presencia de coliformes totales.
2. Si los resultados de la muestra indican un nivel (presencia) que supera los valores umbrales de coliformes totales, la etapa siguiente consiste en realizar una cloración de choque de su sistema, analizar una nueva muestra y solicitar el recuento de coliformes totales en una prueba de ausencia-presencia.

**¿Quién toma muestras del agua embotellada?**

En el marco de sus funciones de aplicación de la ley, la Agencia de Inspección Alimentaria de Canadá puede inspeccionar productos de agua embotellada, así como las etiquetas y los establecimientos (medios de transporte, equipos, etc.) involucrados en la venta, fabricación y distribución de agua embotellada. Además, algunos ministerios y organismos provinciales y municipales pueden inspeccionar el agua embotellada. Si su instalación utiliza principalmente agua embotellada como fuente principal de agua potable, debe asegurarse de que cumpla con las exigencias de las *Recomendaciones para la calidad del agua potable en Canadá*.

**Tengo un nuevo sistema UV que funciona según los requisitos del fabricante, pero aun así, sigue habiendo coliformes totales en la muestra de agua del punto de toma de muestra, después de la UV. ¿Qué debo hacer?**

1. Tome una nueva muestra pero asegúrese de desinfectar la canilla de la muestra tal como se muestra en el vídeo sobre muestreo de agua.
2. Compruebe la transmitancia ultravioleta (TUV) del agua. Se trata de la capacidad del agua para permitir que la UV funcione de forma eficaz. Las pruebas para este parámetro suelen realizarse en un laboratorio.
3. Asegúrese de que haya un prefiltro antes de la unidad UV. El alcance del tratamiento previo necesario depende de la calidad del agua.
4. Consulte a su especialista en calidad del agua.

**El indicador luminoso de mi unidad UV está encendido ¿qué hago?**

Es posible que la bombilla de su unidad UV deba ser reemplazada. Con el tiempo la bombilla va perdiendo gradualmente sus capacidades desinfectantes. Si no está familiarizado con el procedimiento que debe seguir para sustituir la bombilla UV, consulte al fabricante o a su especialista en calidad del agua.

Debe tener en cuenta que no todas las unidades UV tienen un indicador luminoso o alarma. En estos casos, debe cambiar la bombilla por lo menos una vez al año. Cuando cambie la bombilla debe limpiar también la funda de cuarzo que rodea la bombilla.

### **¿Cuánto tiempo dura un filtro de carbón activo granular (CAG) o un filtro a base de carbón?**

Dependiendo de la calidad y de la cantidad de agua que pase por el filtro de CAG, éste podría hacer su trabajo debidamente durante dos meses, un año, dos años o más tiempo. Por lo general, el filtro está situado cerca del final de la cadena de tratamiento para resolver las cuestiones de olor, sabor, pesticidas y materia orgánica disuelta. Si se filtra el agua superficial no depurada sin ningún tratamiento previo, en poco tiempo se agotará el filtro de carbón y éste deberá ser sustituido.

En una cadena de tratamiento bien diseñada, el filtro de carbón debería durar mucho tiempo. La toma de muestras o realización de análisis periódicamente, o un cambio perceptible en el sabor u olor del agua, puede indicar cuando es necesario inspeccionar o reemplazar un filtro de carbón. Si el filtro de carbón está situado cerca del inicio de la cadena de tratamiento y está eliminando mayores concentraciones de material orgánico, es necesario inspeccionar constantemente el filtro para verificar que no se haya agotado.

Un filtro de carbón que se haya agotado y que no funcione de acuerdo con las especificaciones del fabricante o un filtro de carbón que no sea del tamaño adecuado, puede afectar de forma nociva la calidad del agua. Fomentará la proliferación microbiológica en el carbón, que pasará al usuario final del agua.

### **¿Qué es una interconexión?**

Se trata de una conexión existente o posible entre un sistema de agua potable y cualquier fuente de contaminación.

### **¿Con qué frecuencia se comprueban los dispositivos de contraflujo verificables?**

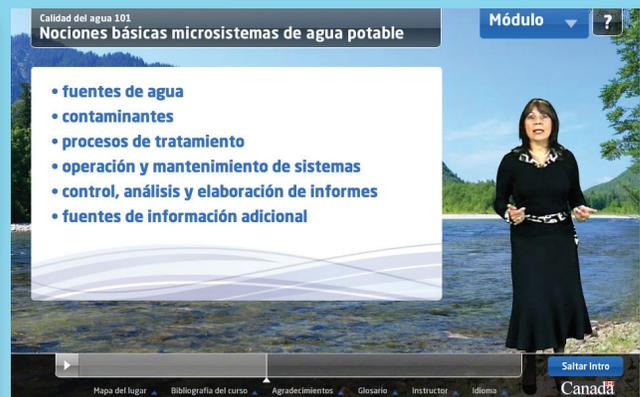
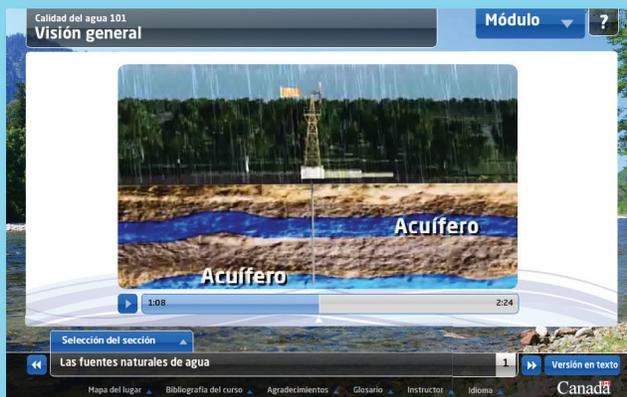
La frecuencia con que debe hacerse esta comprobación está estipulada por la autoridad reglamentaria (en virtud del Código Nacional de Plomería de Canadá). Los dispositivos de contraflujo verificables como un contraflujo basado en el principio de presión reducida (PR), conjunto de válvula de retención doble (DCVA), interruptor de presión y vacío (PVB) o interruptor de presión y vacío resistente a fugas deben ser sometidos a pruebas:

- En el momento de su instalación
- Cada año
- Si se cambian de lugar
- Si se realizan trabajos de plomería en la zona del dispositivo de contraflujo
- Tras un mantenimiento de rutina

**Tengo un sistema de distribución de agua muy pequeño (microsistema) y la instalación es un edificio de una sola planta en el que trabajan unos pocos empleados. ¿Debo preocuparme por la cuestión del control interconexiones?**

La mayoría de los municipios exigen algún tipo de control interconexiones incluso para los sistemas de agua de bajo riesgo (pequeños). Es importante entender las exigencias que debe cumplir de acuerdo con su reglamento local y los códigos de plomería aplicables. Póngase en contacto con su municipio y con un especialista local certificado en control de interconexiones para obtener más información.

Esta publicación fue concebida como una herramienta de capacitación por el Consejo Interministerial de Capacitación para la Calidad del Agua del gobierno federal con la finalidad de proporcionar información sobre los métodos de gestión de la calidad del agua para los sistemas de agua potable que prestan servicio a un máximo de 25 personas. Se denominan “microsistemas” y se pueden encontrar en diversos lugares como instalaciones federales remotas, barcos, embajadas y comunidades de las Primeras Naciones.



Este manual está disponible también en inglés y francés.

