

# Manual de tratamientos del agua de consumo humano



**Junta de  
Castilla y León**

Consejería de Sanidad

© **Junta de Castilla y León**  
Consejería de Sanidad

Diseño, maquetación e impresión: Gráficas Lafalpoo, S.A.

Depósito Legal: VA-910/09

# Índice

<b>Introducción</b> .....	7
1. La importancia de la desinfección del agua .....	9
2. Consideraciones importantes .....	11
3. Eficacia de la desinfección .....	12
3.1. Factores de la desinfección .....	12
3.2. Eficacia del método .....	14
<b>Métodos y dispositivos para el tratamiento del agua</b> .....	15
1. Calor .....	19
2. Coagulación-floculación-sedimentación-filtrado .....	19
2.1. Coagulación .....	20
2.2. Floculación .....	22
2.3. Sedimentación .....	23
2.4. Filtración .....	24
2.5. Microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración .....	29
2.6. Filtración con carbón activo .....	29
2.7. Ósmosis inversa .....	31
3. Radiación ultravioleta .....	32
3.1. Mecanismo de acción .....	32
3.2. Control y mantenimiento .....	32
4. Cloro .....	33
4.1. Mecanismo de acción .....	33
4.2. Dosificación .....	40
4.3. Generación de dióxido de cloro in situ .....	42
4.4. Generación de cloro mediante electrolisis .....	43
4.5. Control y mantenimiento .....	44

5. Ozono .....	48
5.1. Mecanismos de acción .....	49
5.2. Control y mantenimiento .....	49
6. Otros productos .....	51
7. Comparación de los desinfectantes .....	52
<b>Subproductos</b> .....	<b>55</b>
1. Efectos sobre la salud .....	57
2. Tipos de subproductos .....	58
2.1. Cloración .....	58
2.2. Dióxido de cloro .....	60
2.3. Rayos ultravioleta .....	60
2.4. Ozono .....	60
3. Prevención de la formación de subproductos .....	61
<b>Mantenimiento</b> .....	<b>63</b>
<b>Problemas frecuentes en la desinfección</b> .....	<b>67</b>
1. Pérdida de desinfectante residual .....	69
2. Aparición de color y turbidez .....	70
3. Olor y sabor en el agua .....	71
4. Aumento del aluminio soluble .....	73
5. Nitritos .....	73
6. Contaminación procedente de elementos estructurales .....	74
<b>Autocontrol. Toma de muestras</b> .....	<b>75</b>
1. Puntos de muestreo .....	78
2. Material .....	80
3. Toma de muestra .....	81
4. Tipos de análisis .....	82
5. Frecuencia .....	84
6. Cualificación del método .....	85
<b>Anexos</b> .....	<b>87</b>
<b>Glosario</b> .....	<b>99</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>103</b>

# Presentación

El agua, como fuente de vida, es indispensable para la salud y el bienestar humano. El acceso al agua apta para el consumo es un derecho básico de los ciudadanos y su calidad debe estar siempre vigilada por todos los agentes que intervienen en el ciclo del agua. Preservar su inocuidad es un componente siempre presente en las políticas de protección de la salud de las administraciones sanitarias.

Debido al gran número potencial de población expuesta los brotes de transmisión hídrica tienen un importante impacto en la salud pública. Desde la Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla y León se consideran de suma importancia los tratamientos de desinfección de todas las aguas que abastecen a los ciudadanos de nuestra Comunidad Autónoma. Por este motivo se elaboró el Programa de Vigilancia del Agua de Consumo Humano de Castilla y León, que recoge entre sus objetivos, en el contexto de la Sanidad Ambiental, la mejora de la vigilancia del agua de consumo humano, en el marco del III Plan de Salud de Castilla y León.

Con este Manual, la Consejería de Sanidad pone a disposición de los técnicos y responsables de la gestión de la calidad del agua de consumo, una herramienta de trabajo y consulta, con el fin de facilitar su labor, en favor de la protección de la salud de los ciudadanos de nuestra Comunidad Autónoma.

**Francisco Javier Álvarez Guisasola**  
**Consejero de Sanidad**





# Introducción





# Introducción

## 1. LA IMPORTANCIA DE LA DESINFECCIÓN DEL AGUA

El agua es una necesidad fundamental de la Humanidad. Las Naciones Unidas considera el acceso al agua limpia como un derecho básico, y como un paso esencial hacia la mejora de los estándares de vida en todo el mundo, ya que su calidad está directamente relacionada con la salud humana.

En un sistema de tratamiento del agua, la desinfección es el último paso para su potabilización. Se trata de una fase imprescindible para evitar riesgos de enfermedad, por lo que no debe tratarse como un elemento más, sino como un componente vital del sistema. La legislación española obliga a que todas las aguas distribuidas por red o cisterna deben ser desinfectadas.

Las características principales de la desinfección son las siguientes:

**Objetivo de la desinfección:** garantizar la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico y asegurar su inocuidad para la salud del consumidor.

**Como actúa:** eliminando los microorganismos patógenos del agua capaces de producir enfermedades.

**Mecanismo:** la acción desinfectante en el agua se puede realizar de dos modos:

- **Remoción de los microorganismos.** Los microorganismos son separados del agua mediante métodos físicos como coagulación, floculación o filtración.

- **Inactivación de los microorganismos.** Los mecanismos que provocan la inactivación de los patógenos son los siguientes:

- Destrucción de la pared celular de los microorganismos, o cambios en la permeabilidad de la célula, permitiendo la penetración de la pared celular.
- Reacción con las enzimas de los microorganismos, que causa inhibición del metabolismo de la glucosa y provoca la muerte del organismo.
- Oxidación y destrucción de la materia orgánica del agua, eliminando la fuente de alimentación de los microorganismos.

### Fases:

- **Desinfección primaria:** Elimina los patógenos y la materia orgánica del agua presentes en la planta de tratamiento.

- **Desinfección secundaria:** Evita que aparezcan patógenos durante la distribución del agua, desde que sale de la planta de tratamiento hasta que llega al consumidor. Esto se consigue asegurando la presencia de desinfectante residual tras la desinfección, y durante todo el sistema de distribución hasta el grifo del consumidor.

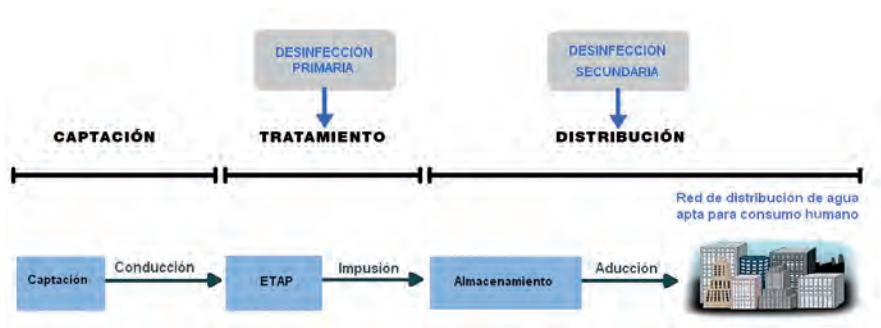


Figura 1 - Proceso de tratamiento del agua destinada al consumo humano.

A la salida de la ETAP (Estación de Tratamiento de Agua Potable) o del depósito con sistema de cloración, el agua debe contener un mínimo de 0,5 mg/l de cloro libre residual, manteniéndose un valor mínimo de 0,2 mg/l en todos los puntos de la red de distribución permanentemente. Cuando no exista desinfectante residual en las redes

de distribución se considerará una incidencia en el cumplimiento del Real Decreto 140/2003 y del Programa de Vigilancia Sanitaria del Agua de Consumo Humano de Castilla y León.

## 2. CONSIDERACIONES IMPORTANTES

La **desinfección no destruye todos los microorganismos presentes**, por lo que no hay que confundirlo con la esterilización:

- **Desinfección** - Es la inactivación de microorganismos patógenos, con el objeto de conseguir agua de calidad apta para el consumo humano.
- **Esterilización** - Es la destrucción de todos los microorganismos presentes. Conlleva la necesidad de aplicar una dosis mucho mayor de desinfectante, lo que aumenta el coste y la generación de subproductos indeseados y sabores desagradables.

Hay que tener en cuenta que no existe el desinfectante o la técnica perfecta, lo más adecuado es elegir la técnica disponible que mejor se adapte a las condiciones de la zona: población, recursos, limitaciones, etc.

La **desinfección no debe sustituir a otras medidas** que mejoren la calidad previa del agua. Para que la desinfección sea efectiva, el agua deben tener una calidad mínima, libre de partículas coloidales causantes de turbiedad y color, que pueden obstaculizar la acción desinfectante.

Es muy importante realizar una **adecuada mezcla y dispersión del desinfectante** en toda la masa de agua para que el tratamiento sea homogéneo y no pierda eficacia.

La mayoría de desinfectantes producen **subproductos de la desinfección**, y algunos de ellos son cancerígenos. Existe, por lo tanto, un riesgo potencial asociado a la desinfección, pero es un riesgo muy bajo comparado con el peligro derivado del consumo de agua sin desinfectar:

- El riesgo de mortalidad por enfermedad diarreica (causada por el agua sin desinfectar) es 1000 veces mayor que el riesgo asociado a ingesta de agua clorada.

- El riesgo de enfermar por diarrea es 1.000.000 de veces mayor que el riesgo por enfermar de cáncer asociado al agua clorada.

El equipo de desinfección está ligado, como ninguna otra parte del sistema, al operador y a los mismos usuarios. Los desinfectantes, especialmente el cloro, producen sabores y olores que pueden ser desagradables para los consumidores, y generar el rechazo de la comunidad. Por ello se debe realizar una acción de concienciación a todo el espectro social acerca de la necesidad de desinfectar, de sus bondades y de los riesgos de una desinfección inadecuada.

El personal que lleve a cabo actividades relacionadas con la desinfección (mantenimiento, toma de muestras...) debe tener la formación adecuada establecida en el Programa de Vigilancia Sanitaria del Agua de Consumo Humano de Castilla y León.



**Figura 2** - Instalaciones de la ETAP de Burgos.

### 3. EFICACIA DE LA DESINFECCIÓN

#### 3.1. FACTORES DE LA DESINFECCIÓN

Los principales factores que influyen sobre la eficacia de la desinfección son los siguientes:

### Microorganismos presentes

La reacción de los microorganismos frente a la desinfección depende de la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del desinfectante y de la afinidad química del producto con las sustancias vitales del organismo.

### Desinfectante utilizado

Los desinfectantes tienen diferentes mecanismos de actuación con distinta eficacia, asimismo la concentración del producto influye en el tiempo de contacto necesario para un tratamiento eficiente.

### Tiempo de contacto

Para lograr un tratamiento eficaz, el tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua debe ser adecuado, y para ello el sistema de tratamiento tendrá capacidad suficiente para permitirlo. El volumen de los depósitos depende del caudal de agua y del tiempo de contacto requerido por el desinfectante, su relación viene dada por la siguiente ecuación:

$$V = Q \times T$$

Donde:

**Q:** caudal del agua (l/min).

**T:** tiempo mínimo de contacto del desinfectante (min).

**V:** Volumen necesario del depósito (l).

El tiempo de contacto se calcula teniendo en cuenta la concentración y el tiempo de contacto mínimo del desinfectante:

$$TC = C \times T$$

Donde:

**C** = concentración del agente desinfectante (mg/l)

**T** = tiempo mínimo de contacto del desinfectante (min).

**TC** = tiempo de contacto necesario para la desinfección (mg min/l)

### Características físico- químicas del agua

- **pH:** Los microorganismos son capaces de vivir en un intervalo de pH determinado, generalmente medios muy ácidos o muy básicos son ambientes adversos para su supervivencia. De este modo el pH condiciona la eficacia de la desinfección.
- **Partículas en suspensión:** su presencia en el agua puede proteger a los patógenos frente a la desinfección.
- **Materia orgánica:** puede reaccionar con los desinfectantes químicos dando lugar a subproductos dañinos para la salud, o a la formación de olores y sabores desagradables en el agua.

### Temperatura del agua

En general el aumento de temperatura favorece la eficacia de la desinfección, pero la solubilidad de los gases disminuye al subir la temperatura, por lo que el rendimiento de los desinfectantes gaseosos también disminuye.

### 3.2. EFICACIA DEL MÉTODO

Existe una gran cantidad de desinfectantes diferentes para el agua, pero para que el tratamiento sea efectivo, el método utilizado debe poseer ciertas características:

- Actuar en un tiempo razonable.
- Ser efectivo en un rango amplio de concentración, pH y temperatura.
- No ser tóxico en las dosis habituales.
- Causar mínimo impacto ambiental.
- No añadir sabores ni olores desagradables al agua.
- De fácil disponibilidad en las zonas cercanas a la planta de tratamiento.
- Seguro y fácil en su manejo y aplicación.
- Proporcionar un residuo de desinfectante.
- Efectivo frente a un amplio rango de microorganismos (sobre todo para los patógenos).
- Bajo coste.



# Métodos y dispositivos para el tratamiento del agua





# Métodos y dispositivos para el tratamiento del agua

Antes de distribuir el agua a la red de abastecimiento es necesario realizar un proceso de desinfección. Existe una gran cantidad de métodos de desinfección, pero con cualquiera de ellos deberá existir un residuo de desinfectante tras la salida de la planta, que garantice la calidad del agua durante su almacenamiento y distribución y evite por tanto la contaminación en los puntos finales de la red.

La desinfección puede realizarse mediante procedimientos físicos y químicos como se muestra en la siguiente tabla.

TIPO DE DESINFECCIÓN	
<b>FÍSICA</b>	<b>CALOR</b>
	<b>COAGULACIÓN</b>
	<b>FLOCULACIÓN</b>
	<b>SEDIMENTACIÓN</b>
	<b>FILTRACIÓN</b>
	<b>MICROFILTRACIÓN</b>
	<b>ULTRAFILTRACIÓN</b>
	<b>NANOFILTRACIÓN</b>
	<b>ÓSMOSIS INVERSA</b>
	<b>RADIACIÓN ULTRAVIOLETA</b>
<b>QUÍMICA</b>	<b>COLORO</b>
	<b>OZONO</b>
	<b>PERMANGANATO POTÁSICO</b>
	<b>PERÓXIDO DE HIDRÓGENO</b>

Estos procesos no realizan la desinfección del agua, ya que no eliminan los patógenos, pero son de gran importancia ya que aumentan la eficacia desinfectante.

Hipoclorito sódico  
 Hipoclorito cálcico  
 Cloro gaseoso  
 Dióxido cloro  
 Cloraminas  
 Hidrólisis

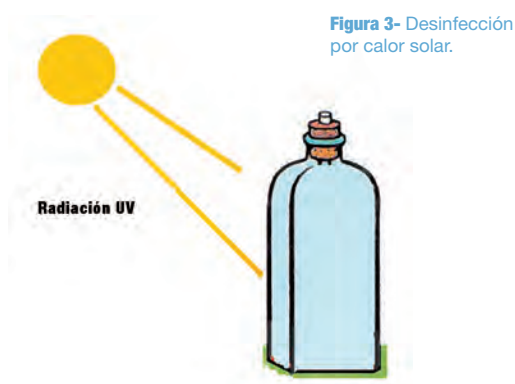
Tabla 1 - Tipos de desinfección

## 1. CALOR

Es un tratamiento que sólo ha de utilizarse en situaciones de emergencia. Los microorganismos tienen una alta sensibilidad a las temperaturas altas, por lo que las células vegetativas mueren debido a la desnaturalización de las proteínas y la hidrólisis de otros componentes.

**Debe emplearse junto con otro desinfectante para obtener un residual adecuado durante la distribución.**

Algunas bacterias son capaces de producir esporas, lo que las hace resistentes al calor. En general se puede afirmar que la mayoría de las bacterias mueren entre los 40 y 100° C, mientras que las algas, protozoarios y hongos lo hacen entre los 40 y 60° C.



## 2. COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN-SEDIMENTACIÓN-FILTRADO

Estos procesos no son tratamientos de desinfección propiamente dichos, pero son muy importantes ya que contribuyen al aumento de su eficacia, porque son capaces de:

- **Eliminar los sólidos en suspensión**, disminuyendo así la turbidez del agua. Este proceso es muy importante en la eliminación de patógenos, ya que una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección,

estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro (en el caso de usar cloro como desinfectante).

- **Eliminar gran cantidad de microorganismos**, aunque no es suficientemente eficaz en la remoción de patógenos. A pesar de que los filtros lentos de arena son muy eficaces para eliminar bacterias, y el proceso de coagulación para eliminar virus, el agua final contiene patógenos, y es necesario aplicar otro método de desinfección para asegurar que se mantienen en un nivel de seguridad para el consumidor.

## Procesos

Los procesos en serie de mezcla, coagulación, floculación y sedimentación aglomeran entre sí a los sólidos en suspensión formando cuerpos de mayor tamaño, que posteriormente se separarán por gravedad y finalmente serán retirados del agua mediante un proceso de filtrado.

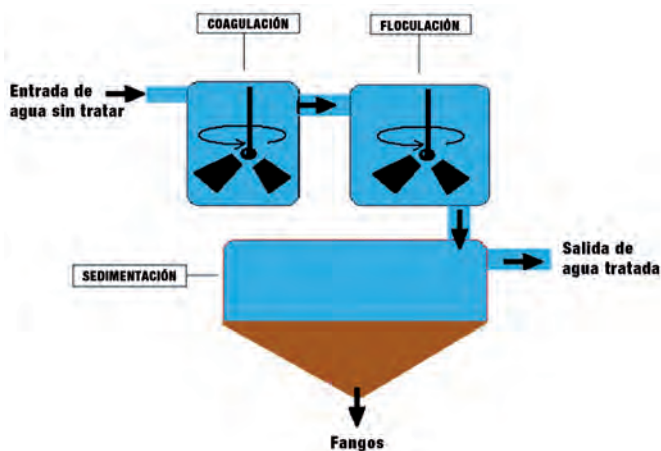


Figura 4 - Procesos en línea de coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

## 2.1. COAGULACIÓN

### 2.1.1. Mecanismos de acción

En esta fase se añade al agua un coagulante químico que aglomera los sólidos en suspensión. El aglomerante elimina las cargas negativas que generan fuerzas de re-

pulsión superficial entre partículas, facilitando de esta forma la adherencia entre las partículas coloidales. Posteriormente es necesaria una mezcla rápida capaz de dispersar los coagulantes en el tiempo requerido.

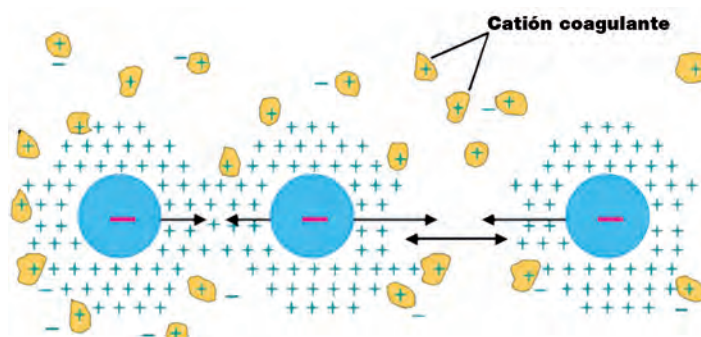


Figura 5- Mecanismo de coagulación.

El proceso requiere el conocimiento químico de las características del agua para asegurarse del uso de una mezcla eficaz de coagulante. Los coagulantes inadecuados vuelven ineficientes estos métodos de tratamiento.

#### Tipos de coagulantes:

- Coagulantes metálicos: sales de hierro y sales de aluminio.
- Polímeros orgánicos: almidones y alginatos.
- Polímeros inorgánicos: de hierro y de aluminio.

#### 2.1.2. Control y mantenimiento

En la dosificación se debe controlar que la aportación del coagulante sea constante y evitar grandes turbulencias y caídas en el punto de aplicación.

Durante la mezcla rápida la dispersión debe ser uniforme en toda la masa de agua.

El pH debe medirse antes y después de la coagulación, ya que la concentración de iones hidrógeno influye en gran medida en la formación del agregado.

Se debe calcular el tiempo de reacción que permita el contacto del coagulante con toda la masa, para ello se tendrá en cuenta el pH de la solución.

## 2.2. FLOCULACIÓN

Después de la coagulación, la mezcla coagulante-agua se agita en una cámara lentamente en un proceso que se conoce como floculación. Este agitado del agua induce que las partículas choquen entre sí y se aglutinen para formar agregados o “flóculos” de mayor peso y tamaño, que facilitan su sedimentación.



**Figura 6** - Dosificador del floculante de la ETAP de Ávila (izquierda) y cámara de mezcla de la ETAP de León (derecha).

### 2.2.3. Control y mantenimiento

Para que la floculación de produzca correctamente, el sistema requiere los siguientes controles:

- Verificar una adecuada agitación. No debe ser, ni tan lenta que favorezca la sedimentación, ni tan rápida que provoque la rotura de los flóculos ya formados.
- Mantener un nivel de agua adecuado en las cámaras. En los floculadores mecánicos debe siempre cubrir las paletas del agitador, y en los hidráulicos se deben seguir las especificaciones del equipo.
- Garantizar que el tiempo de contacto es suficiente para permitir la floculación.

- Controlar que la velocidad de agitación sea adecuada y constante.
- Verificar que el tamaño del floculo sea adecuado. En caso contrario debe cambiarse la dosis de coagulante.
- Evitar vertidos de aceite en el agua procedente de los motores.



**Figura 7-** Flóculos formados en el proceso de floculación. ETAP Zamora.

## **2.3. SEDIMENTACIÓN**

### **2.3.1. Mecanismo de acción**

La sedimentación es un proceso por el cual se realiza la decantación de partículas en suspensión por la acción de la gravedad. De esta forma se eliminan parte de los microorganismos y la materia orgánica que les sirve de alimento, aumentando la eficiencia del tratamiento al aumentar el tiempo de retención del agua en el sedimentador.



**Figura 8** – Decantador de la ETAP de Palencia (izquierda).  
Decantadores hexagonales. ETAP Zamora (derecha).

### 2.3.2. Control y mantenimiento

Los microorganismos separados del agua se acumulan en los lodos, y para garantizar el buen funcionamiento del método es necesario:

- Procesos de coagulación y floculación adecuados.
- Eliminar periódicamente los lodos generados, y gestionarlos adecuadamente para evitar contaminaciones de cauces o suelos.
- Asegurar una distribución adecuada del caudal.
- Minimizar los cambios bruscos de flujo.
- Controlar que la carga del agua sea adecuada en las zonas de salida.
- Controlar los tiempos de retención.

## 2.4. FILTRACIÓN

### 2.4.1. Mecanismo de acción

Tras la sedimentación, se requiere un proceso de filtración para eliminar esa materia residual. El agua, se hace pasar a través de un material poroso, (que suele ser arena y grava), las partículas quedan retenidas en él, y el agua se recoge ya filtrada.



Las partículas retenidas bloquean la superficie y reducen el caudal de agua a través del filtro, por ello se debe limpiar periódicamente. Esto se realiza quitando la capa superficial de arena colmatada de partículas, o cuando sea posible bombeando agua a presión a través del filtro en dirección inversa.

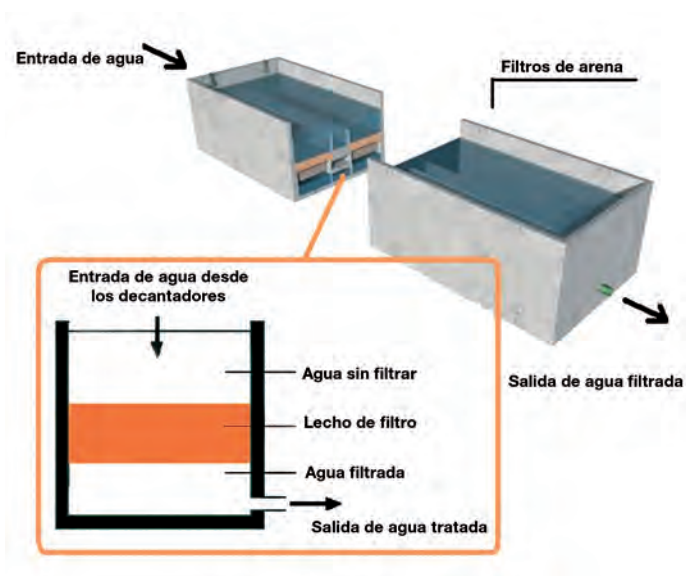


Figura 9- Proceso de filtrado del agua.

### 2.4.2. Dispositivos

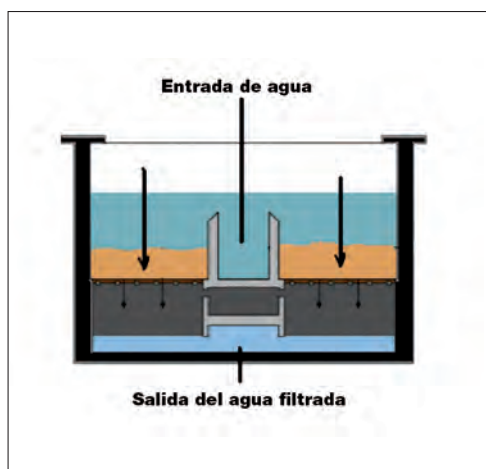
Los filtros que se utilizan generalmente en el tratamiento de aguas son los filtros lentos y los filtros rápidos.

#### Filtros lentos

Al iniciarse el proceso de filtración los microorganismos utilizan como alimento la materia orgánica transportada por el agua, fomentando su multiplicación y la acumulación de una capa biológica en el medio filtrante. Dicha capa ayuda al filtrado físico, y dentro de ésta tiene lugar la oxidación química de las materias orgánicas transformándose en inorgánicas.

Las características más importantes de los filtros lentos son los siguientes:

- Tiempo de contacto agua-filtro: Es prolongado y depende del tipo de filtro.
- Lecho filtrante: Normalmente se usa arena, también antracita.
- Mecanismos: Físicos y biológicos (elimina patógenos, olor y sabor).
- Superficie requerida: Extensiones grandes.
- Flujo: Causado por actuación de la gravedad.



**Figura 10-** Proceso de filtrado de agua (izquierda).  
Filtros de la ETAP de Zamora (derecha).

## Filtros rápidos

Como lecho filtrante se utiliza normalmente arena gruesa, de modo que el espacio entre los granos es mayor que el filtro lento, permitiendo al agua fluir con mayor velocidad. Sin embargo, su efectividad para retener sólidos muy pequeños, microorganismos, olor y sabor, es menor que los filtros lentos.

El efecto más importante en la filtración rápida es la absorción de impurezas con carga eléctrica hacia los granos del lecho de filtro con una carga eléctrica opuesta.

Sin embargo, en este tratamiento, el agua sólo permanece en el lecho filtrante unos minutos, y hay muy poco tiempo para que se desarrolle la biodegradación de la materia orgánica y se produzca la muerte de patógenos.

Las características más importantes de los filtros rápidos son los siguientes:

- Tiempo de contacto agua-filtro: Corto, sólo permanece unos minutos.
- Lecho filtrante: Normalmente se usa arena, también antracita, carbón activo o combinación de capas de diferentes materiales.
- Mecanismo: Físico (prácticamente no tienen actividad biológica).
- Elimina: Sólidos en suspensión grandes (baja efectividad para patógenos, olor y sabor).
- Superficie requerida: No necesita grandes superficies.
- Flujo: Causado por acción de la gravedad o a presión.

Los tipos de filtros se pueden clasificar en función de varios parámetros:

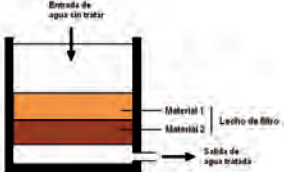


CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE:		TIPOS DE FILTROS
<b>Lecho filtrante</b>	Filtros simples Filtros múltiples	
<b>Sentido del flujo</b>	Ascendente Descendente	
<b>Carga sobre el lecho</b>	Filtros de gravedad Filtros de presión	

Tabla 2 - Clasificación de los filtros rápidos.

### 2.4.3. Control y mantenimiento

Para asegurar un tratamiento correcto hay que realizar una serie de actividades:

- Evitar turbulencias y agitación de la arena en el llenado del filtro.
- Evitar la dispersión de sólidos manteniendo una adecuada coagulación.
- Controlar la turbidez y el color.
- Evitar la pérdida de carga en el efluente del filtro.
- Mantener el filtro limpio. Se realizará el lavado cuando el filtro pierda la máxima carga permitida o cuando la calidad del agua alcance los límites mínimos permitidos por la legislación. Para la limpieza de los filtros, se debe retirar la capa de arena colmatada o lavar el filtro con agua a presión mediante flujo inverso.
- Controlar la altura del agua sobre lecho, que puede ser variable o constante, pero en ningún momento debe trabajar en seco.
- Controlar la velocidad de filtración.
  - Filtros lentos. Es necesario que el filtro se use de forma continua y con una velocidad de filtración constante para que no pierda eficacia. Esta velocidad se puede medir a la entrada (sistema recomendado) mediante un orificio o vertedero que deje pasar un caudal constante, o a la salida donde la altura del agua se utiliza para controlar el caudal.
  - Filtros rápidos. La velocidad de filtración depende de la calidad del agua y del método de filtración, y debe garantizar la eficiencia del proceso.



**Figura 11** - Lavado de filtros de arena en la ETAP de Burgos.

La mayor parte de los problemas que pueden surgir son causados por una limpieza inadecuada que no es capaz de retirar la película acumulada en el lecho filtrante.

## 2.5. MICROFILTRACIÓN, ULTRAFILTRACIÓN Y NANOFILTRACIÓN

Los procesos de microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración se basan en el mecanismo de separación física de la filtración haciendo pasar el agua a través de unas membranas aplicando presión al fluido. La diferencia entre estos métodos es el tamaño de poro de la membrana, que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos.

### Microfiltración

- Tamaño de poro: 0,1 – 10  $\mu\text{m}$
- Ventajas: Elimina arcilla, *Giardia*, algas y parte de bacterias.
- Desventajas: No retiene virus.

### Ultrafiltración

- Tamaño de poro: 0,001 – 0,1  $\mu\text{m}$
- Ventajas: Elimina todos los tipos de bacterias y casi todos los virus.
- Desventajas: No retiene todos los virus, ni sustancias húmicas.

### Nanofiltración

- Tamaño de poro: poro menor a 0,001  $\mu\text{m}$
- Ventajas: Elimina todo tipo de bacterias, virus, quistes, material húmico y moléculas orgánicas.
- Desventajas: Altos costos de operación.

## 2.6. FILTRACIÓN CON CARBÓN ACTIVO

Los materiales que se suelen utilizar para obtener carbón activo son antracita, carbones grasos o bituminosos, coque de petróleo, turba de madera o coco. Es un material cuyo funcionamiento se basa en su gran capacidad de adsorción en un amplio espectro, reteniendo en su superficie de las moléculas que hay disueltas en el agua.



**Figura 12** - Filtros de carbón activo. ETAP Ávila.

Con la activación se confiere al carbón una elevada porosidad que permite elevar la superficie interna (hasta  $1300 \text{ m}^2/\text{gramo}$  de carbón activo) y como consecuencia su poder de retención. Este material es muy adecuado para la mejora de las características organolépticas y para eliminar la presencia de productos fitosanitarios.

#### **SUSTANCIAS QUE SE PUEDEN ELIMINAR CON EL CARBÓN ACTIVO**

- DETERGENTES
- COLORANTES DE SÍNTESIS SOLUBLES
- DISOLVENTES CLORADOS
- FENOLES Y DERIVADOS HIDROXILADOS
- DERIVADOS AROMÁTICOS, ESPECIALMENTE DERIVADOS CLORADOS Y NITRADOS
- TRAZAS DE METALES PESADOS
- SUSTANCIAS QUE PRODUCEN OLORES Y SABORES EN EL AGUA

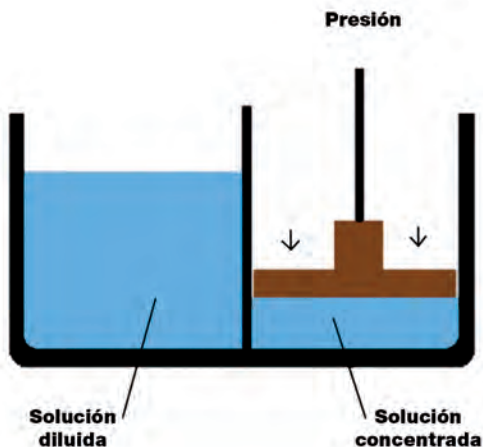


**Figura 13.** Detalle del filtro de carbón activo de la ETAP de Palencia.

## 2.7. ÓSMOSIS INVERSA

En el proceso de ósmosis, dos fluidos que contienen diferente concentración de sólidos disueltos separados por una membrana semipermeable, el fluido de menor concentración se moverá a través de la membrana hacia el de mayor concentración.

Cuando el trasvase de agua iguala las dos concentraciones, las disoluciones reciben el nombre de isotónicas.



**Figura 14 -** Proceso de ósmosis inversa.

La ósmosis inversa es el proceso contrario, en el cual se hace pasar el agua bajo alta presión a través de la membrana semipermeable desde una solución más concentrada a una solución menos concentrada, se filtran de este modo pequeñas partículas, metales pesados, sustancias tóxicas, microorganismos, exceso de sales, etc.

### 3. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

#### 3.1. MECANISMO DE ACCIÓN

La desinfección se logra por medio de la acción de los rayos ultravioleta (UV) emitidos. Su rango germicida está entre las longitudes de onda de 240 a 280 nm. Las ondas cortas de radiación inciden sobre el ADN de los microorganismos y cambian la estructura del material genético, provocando en corto tiempo la muerte de los patógenos.

#### 3.2. CONTROL DE PROCESOS Y OPERACIÓN

Este método necesita disponer de energía eléctrica y no requiere de amplios espacios. El agua que se va a desinfectar debe circular cerca de la fuente de rayos ultravioleta, en una corriente del menor espesor posible, por eso sólo es viable para pequeños volúmenes de agua.

El tiempo de contacto/exposición depende del tipo de agua, el flujo y del equipo utilizado, pero su acción desinfectante es rápida, y normalmente se utilizan exposiciones de 10 a 20 segundos.

Desinfecta sin alterar el sabor ni el olor del agua y sin dejar ningún subproducto: no hay riesgos para la salud del consumidor. **No deja residuo de desinfectante**, por lo que **debe emplearse junto con otro método que aporte el residual adecuado durante la distribución.**

La única forma de controlar el funcionamiento del sistema es mediante el análisis del agua, donde se comprueba el contenido de microorganismos indicadores.



## 4. CLORO

El método de desinfección más aplicado en los sistemas de abastecimiento de agua, es el que emplea cloro y sus compuestos derivados en el tratamiento.

La finalidad principal de la cloración es destruir las bacterias por la acción germicida del cloro. También son importantes otros efectos secundarios como la oxidación del hierro, el manganeso y los sulfuros de hidrógeno, así como la destrucción de algunos compuestos que producen olores y sabores.

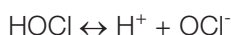
**El cloro es el desinfectante más efectivo para las bacterias y los virus porque el efecto residual de la desinfección puede y debe durar hasta el grifo del consumidor**

Con frecuencia se realiza una precloración antes de la decantación, que sirve para oxidar parte de la materia orgánica del agua y disminuir su concentración. Posteriormente se realiza una postcloración que garantiza la desinfección y la presencia de cloro en la red de distribución.

### 4.1. MECANISMO DE ACCIÓN

La acción desinfectante se produce por su capacidad de traspasar la pared celular del patógeno y atacar su sistema enzimático, provocando la muerte del organismo.

Los agentes desinfectante son el ácido hipocloroso (HOCl) y el ión hipoclorito (OCl<sup>-</sup>). El ácido hipocloroso, se disocia en iones hidrógeno e iones hipoclorito en la siguiente reacción reversible:



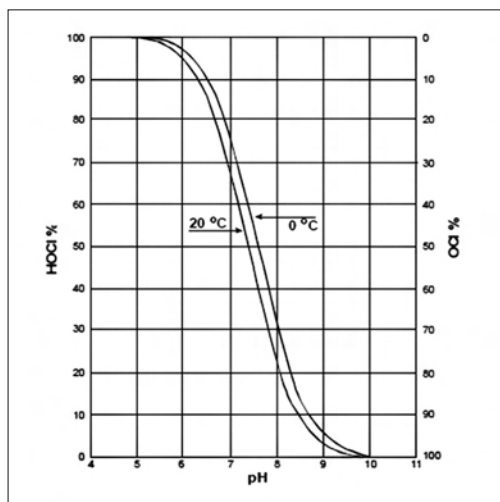
El cloro disminuye el pH del agua a causa de los iones hidrógeno que se producen en las reacciones con el agua.

## IMPORTANCIA DEL pH

La desinfección es más eficiente con niveles de pH bajos debido a que favorece la formación de ácido hipocloroso, un agente alrededor de 80 veces más eficaz que el ión hipoclorito.

**IÓN HIPOCLORITO:** predomina en un pH > 7.5

**ÁCIDO HIPOCLOROSO:** predomina en un pH < 7.5



**Figura 15** - Cantidades relativas del ácido hipocloroso y del ión hipoclorito en función del pH.

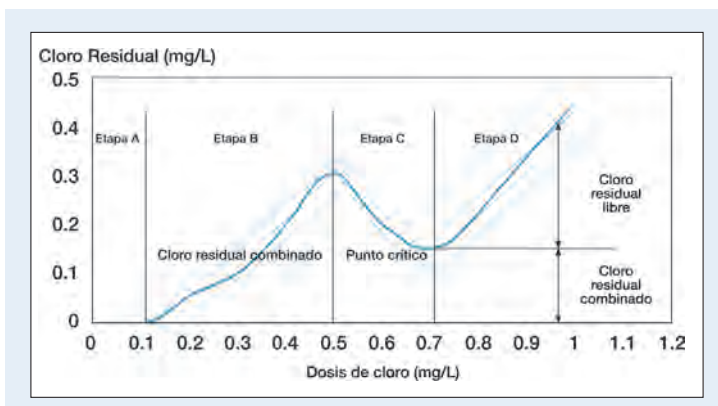
## Dosis de cloro. Cloro residual

Es necesario añadir la dosis necesaria de cloro para que, a la salida del tratamiento, el agua contenga un mínimo de 0,5 mg/l de cloro libre residual, y se mantenga un mínimo de 0,2 mg/l en todos los puntos de la red de distribución permanentemente.

El cloro que existe en el agua en forma de ácido hipocloroso o de iones hipoclorito se conoce con el nombre de cloro libre disponible, pero no todo el cloro que se agrega al agua da lugar a estas formas. La dosis necesaria en la desinfección del agua es la suma de dos factores, la demanda de cloro y el cloro libre residual exigido.

### DOSIS DE CLORO = DEMANDA DE CLORO + CLORO LIBRE RESIDUAL

La reacción que se produce cuando se añade de forma progresiva el cloro al agua, tiene la siguiente evolución:



**Etapa A:** el cloro oxida los compuestos reductores.

**Etapa B:** Se forman compuestos organoclorados y cloraminas.

**Etapa C:** Se destruyen cloraminas y compuestos organoclorados.

**Etapa D:** Se forma cloro libre. Presencia de compuestos organoclorados no destruidos.

**Figura 16** - Curva típica de la reacción del cloro al añadirlo progresivamente en el agua.

La primera porción del cloro añadido reacciona con las sustancias fácilmente oxidables tales como  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3$  y la materia orgánica reacciona con el cloro reduciendo la mayor parte del ión cloruro (etapa A). Tras satisfacer esta demanda inmediata, el cloro continúa reaccionando con el amoníaco para formar cloraminas y otros compuestos orgánicos (cloro residual combinado, etapa B), pero al seguir aumentando la dosis de cloro, algunas de las cloraminas se convierten en tricloruro de nitrógeno, mientras que las restantes se oxidan a óxido nítrico y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), reduciéndose el cloro a ión cloruro hasta llegar al punto crítico (etapa C). A partir de aquí, el cloro libre disponible (cloro sin reaccionar) aumenta progresivamente (etapa D).

Cuando la desinfección se realice a través de cloración, el tiempo de contacto entre el cloro (o su derivado) y el agua no será inferior a 30 minutos, procurando mantener un pH inferior a 8.

El análisis de desinfectante residual se realizará semanalmente a la salida de la ETAP o depósito donde se realice la desinfección, y diariamente en distintos puntos de la red de forma rotativa dando prioridad a puntos terminales de red. Si el valor obtenido se encontrase por debajo de 0,2 mg/l, se procederá a tomar muestra por parte del gestor para análisis bacteriológico donde se determinarán *Escherichia coli* y bacterias coliformes, y además se contemplará la instalación de un sistema de reclusión. El intervalo recomendado de cloro libre residual (CLR) en red de distribución se establece entre 0,2 y 0,6 mg/l.

Según el Programa de Vigilancia Sanitaria del Agua de Consumo Humano de Castilla y León se recomienda la implantación progresiva de aparatos automáticos de inyección y de medida de desinfectante residual a la salida de ETAPs y depósitos con sistema de cloración.

Los operarios deberán tener un instrumental adecuado para la medición de cloro libre residual (CLR) en el agua distribuida para consumo humano. Dicho instrumental deberá contar con una escala que identifique diferencias de 0,1 mg/l en el rango entre 0 y 1,5 mg/l de CLR.

#### 4.1.1. Hipoclorito

##### Hipoclorito sódico

Cuando el hipoclorito de sodio (NaOCl) entra en contacto con el agua, da lugar al ácido hipocloroso (HOCl) mediante la siguiente reacción:



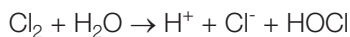
##### Hipoclorito cálcico

La reacción que tiene lugar cuando el hipoclorito de calcio (Ca(OCl)<sub>2</sub>) entra en contacto con el agua es la siguiente:



### 4.1.2. Cloro gaseoso

El cloro gaseoso se hidroliza en agua de forma casi completa para formar ácido hipocloroso mediante la siguiente reacción:



**Figura 17** - Cilindros de cloro gaseoso. ETAP Palencia.

### 4.1.3. Dióxido de cloro

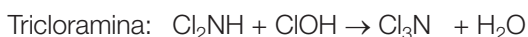
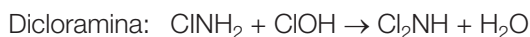
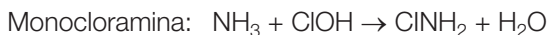
El dióxido de cloro es un gas muy soluble en agua de color verde amarillento. Existe en el agua como  $\text{ClO}_2$  con poca o ninguna disociación. Su poder biocida se basa en ser capaz de atravesar las paredes celulares de las bacterias y destruirlas, mientras que sobre los virus el efecto incluye su adsorción y penetración en la capa proteica de la cápside viral, y su reacción con el ARN del virus.

El dióxido de cloro tiene menor efecto microbicida que el ozono, pero es un desinfectante más potente que el cloro.

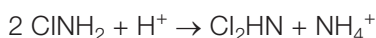
### 4.1.4. Cloraminas

En el proceso de cloraminación se mezcla cloro con amoníaco dando lugar a las cloraminas, compuestos orgánicos con efecto desinfectante, que al ser más estables que el cloro libre, resultan muy efectivas en la desinfección secundaria, para controlar el recrecimiento bacteriano en la red y las corrosiones de la misma. El amoníaco se puede añadir también en forma de sulfato de amonio.

Hay tres tipos de cloraminas: monocloraminas ( $\text{ClNH}_2$ ), dicloraminas ( $\text{Cl}_2\text{NH}$ ) y tricloraminas ( $\text{Cl}_3\text{N}$ ), y las reacciones de formación son las siguientes:



La formación de una u otra cloramina, así como la velocidad de reacción, se ve regida por el pH y la temperatura del agua, y la proporción entre cloro y amoníaco. El equilibrio entre la formación de monocloramina y dicloramina se ajusta a la siguiente ecuación:



Este método de desinfección se suele emplear como desinfección secundaria. Tras la desinfección primaria, hay que comprobar que después de satisfacer la demanda de cloro del agua, quede aún cloro libre residual. De este modo, al añadir amoníaco, reacciona con dicho cloro y se forman las cloraminas (cloro combinado). La evolución de las cloraminas viene descrita en la siguiente gráfica.

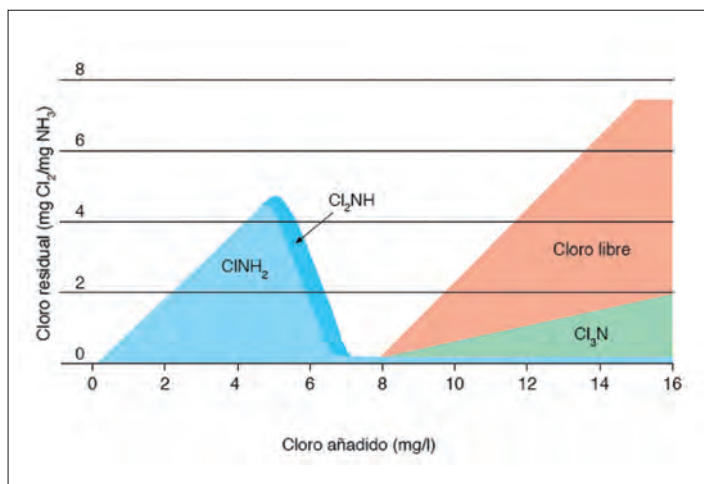


Figura 18 - Formación de cloraminas

#### 4.1.5. Electrolisis

El cloro también puede generarse “in-situ” mediante un proceso de electrólisis de la sal común (NaCl). La electrólisis consiste en aplicar una corriente eléctrica a una disolución de cloruro sódico, lo que permite separar sus iones. La electrólisis se produce en una celda con dos electrodos el positivo y el negativo, que mediante la aplicación de una corriente, son capaces de separar los iones positivos y los iones negativos.

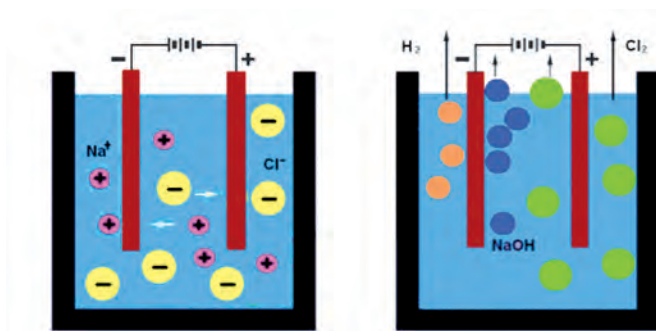
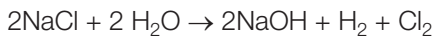


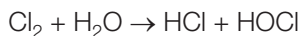
Figura 19 - Obtención de cloro mediante electrólisis.

Las reacciones que tienen lugar durante la hidrólisis son las siguientes:

Al aplicar una diferencia de potencial en los electrodos se produce a partir de la sal y el agua:



Es decir, se produce sosa (NaOH), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y cloro ( $\text{Cl}_2$ ). Éste último se disuelve en el agua formando ácido hipocloroso y clorhídrico (HCl):



Hay que tener en cuenta que de los dos átomos de la molécula de cloro, solamente uno forma ácido hipocloroso, que es agente desinfectante, y el otro átomo forma ácido clorhídrico que se desperdicia, ya que no es reactivo oxidante. Por esta razón el medio se acidifica y el pH baja, lo cual no es deseable. Para evitar esto, se añade hidróxido sódico (sosa) que neutraliza el ácido y forma cloruro sódico (sal común).

## 4.2. DOSIFICACIÓN

La dosificación depende de la forma en que se presenta el cloro:

**Hipoclorito.** Comercialmente el hipoclorito de sodio se suele comercializar como solución acuosa, y el hipoclorito de calcio en polvo, gránulos o tabletas.

**Cloro gaseoso.** El gas se presenta licuado almacenado en botellas. La cloración se realiza a través de un reductor a presión normal, en el que el cloro es mezclado con un determinado volumen de agua por unidad de tiempo.

**Dióxido de cloro.** El dióxido de cloro es un gas inestable que puede ser generado 'in situ', o ser almacenado estabilizándolo en soluciones acuosas.

La desinfección debe efectuarse mediante un equipo de dosificación automático. Asimismo, se recomienda la implantación progresiva de aparatos automáticos de inyección y de medida de desinfectante residual a la salida de las ETAP y de los depósitos con sistema de cloración.



Figura 20 - Dosificador de cloro a vacío. ETAP Palencia.



Figura 21- Dosificador de cloro gas. ETAP Palencia.



La mayoría de dosificadores aportan cloro de forma continua, pero algunos (los de tipo balancín y tipo Venturi) lo suministran de forma discontinua en función de la demanda, es decir, dependiendo del volumen de agua que haya en el depósito en cada momento.

Para dosificar el cloro se realizarán una serie de pasos a seguir:

### Cálculo de dosis de cloro necesario para la desinfección del agua

La cantidad de cloro que es necesario aplicar es la suma de la demanda de cloro del agua a tratar y del cloro residual que debe quedar tras la desinfección. Por esta razón, en primer lugar hay que conocer la demanda de cloro.

### Preparación de las soluciones de los productos

Con los productos sólidos o líquidos, si no es posible encontrarlos en las concentraciones requeridas, será necesario preparar la disolución acuosa que después se mezclará con el agua. Los cálculos vienen detallados en la figura 22.

En el caso del cloro gaseoso el recipiente que lo contiene se conecta directamente al dosificador.

**CÁLCULO PARA LA PREPARACIÓN DE LA DISOLUCIÓN CLORADA**

<p><b>Productos líquidos</b>  <b><math>Vd = (Co \times Vo / Cf) - Vo</math></b></p> <p>Donde:            Co: Concentración inicial del producto (g/l)            Vo: Volumen del producto (l)            Cf: Concentración final (g/l)            Vd: Volumen del agua a añadir (l)</p>	<p><b>Productos sólidos</b>  <b><math>Vd = (\% \times 10 P) / Cf</math></b></p> <p>Donde:            %: Porcentaje de cloro activo en el producto            P: Peso del producto (Kg)            Cf: Concentración final (g/l)            Vd: Volumen del agua a añadir (l)</p>
---	--

Figura 22 - Cálculo de la disolución clorada.

### Calibración del dosificador

Para calcular la cantidad de desinfectante que hay que añadir por unidad de tiempo se aplicarán las siguientes ecuaciones en función del producto clorado que se utilice:

CÁLCULO DEL CAUDAL NECESARIO DE DISOLUCIÓN CLORADA	
<p><b>Producto líquido</b>  <math>M = (D \times Q) / C</math></p> <p>Donde:            M (l/h) = Cantidad de cloro a dosificar            D (mg/l) = Dosis de cloro            Q (l/h) = Caudal de agua a tratar            C (mg/l) = Concentración de la solución</p>	<p><b>Producto sólido</b>  <math>M = D \times Q</math></p> <p>Donde:            M (g/h) = Cantidad de cloro a dosificar            D (g/l) = Dosis de cloro            Q (l/h) = Caudal de agua a tratar</p>

Figura 23 - Cálculo del caudal de dosificación de la disolución clorada.

### 4.3. GENERACIÓN DE DIÓXIDO DE CLORO IN SITU

El dióxido de cloro se puede generar mediante los siguientes mecanismos:

Reacción de clorito de sodio con cloro gaseoso:

La solución de clorito de sodio se dosifica mediante una bomba y es mezclada con la solución de cloro directamente antes de entrar a la torre de reacción. La solución de dióxido de cloro es diluida con agua, antes de pasar al tanque de almacenamiento. La reacción se explica mediante la siguiente ecuación.

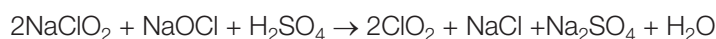


**Reacción de clorito de sodio con ácido clorhídrico:**



La soluciones de clorito de sodio y de ácido clorhídrico son impulsadas por una bomba dosificadora de diafragma desde los tanques de almacenamiento y descargadas dentro de la torre de reacción. La solución es agregada al agua de proceso y después se pasa a un mezclador, desde donde se vierte a la corriente principal.

**Reacción de clorito de sodio con hipoclorito de sodio y ácido sulfúrico:**



Tiene gran efecto sobre el control del olor y el sabor, así como para destruir sustancias orgánicas que dan color al agua, o los precursores de trihalometanos (THM).

#### **4.4. GENERACIÓN DE CLORO MEDIANTE ELECTROLISIS**

Actualmente se aplican tres tipos diferentes de tecnología: electrolisis con celda de amalgama de mercurio, electrolisis con celda de membrana y electrolisis con celda de diafragma.

##### **Celda de mercurio**

El mercurio actúa como cátodo, atrapando el sodio elemental en su seno (amalgama), cuando se pone en contacto con agua libera el sodio, desprendiendo hidrógeno y formando hidróxido de sodio en solución. El mercurio "desamalgamado" se recircula para ser reutilizado nuevamente.

Con este proceso se consiguen unos productos muy puros, pero por el hecho de utilizar mercurio requiere unos controles y unas medidas de seguridad específicas para la protección de los trabajadores y del medio ambiente.

##### **Celda de diafragma**

Un diafragma actúa como medio de separación entre las dos soluciones presentes, evitando que los productos se mezclen o reaccionen.

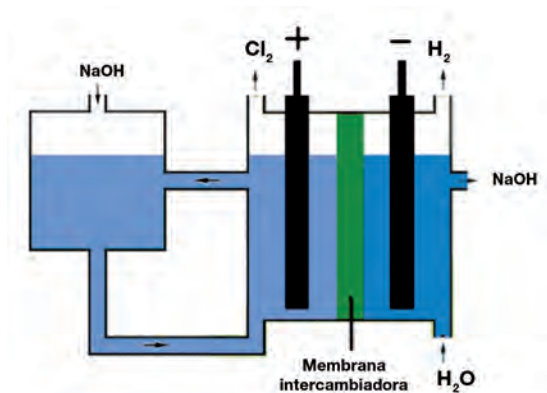


Figura 24 - Electrolisis con celda de membrana.

### Celda de membrana

La celda está dividida en dos compartimentos por medio de una membrana que permite el paso de iones a través de ella. Necesita menos energía que el proceso con celda de mercurio.

## 4.5. CONTROL Y MANTENIMIENTO

Durante el proceso se deben controlar ciertos aspectos para que los procesos de desinfección de desarrollen correctamente y los equipos funcionen de forma adecuada:

- La mezcla del cloro con el agua debe ser rápida y uniforme.
- El tiempo de contacto del cloro debe ser suficiente para garantizar la desinfección completa.
- El pH debe controlarse durante todo el proceso. Debe ajustarse por debajo de 7.5, ya que con valores más altos puede disminuir la efectividad.
- Se debe controlar la turbidez, ya que puede proteger a los microorganismos de la acción del desinfectante.
- Es necesario controlar que los subproductos de la cloración, sobre todo los trihalometanos, no estén presentes en el agua tratada en una concentración mayor que la permitida por el Real Decreto 140/2003.



**Figura 25** - Sala de control de la ETAP de Burgos.

El nivel de patógenos se debe controlar en la red de distribución para verificar el buen estado sanitario del agua hasta que llegue al consumidor.

Se debe medir el cloro libre residual con la frecuencia establecida según el Real Decreto 140/2003.

Siempre deben utilizarse dosificadores automáticos.

Debe vigilarse la posición del rotámetro, sobre todo cuando se trabaja con cloro a presión.



**Figura 26** - Equipo de protección. ETAP Zamora.

Todos los controles realizados deben ajustarse a lo establecido en el Real Decreto 140/2003.

Alguno de los productos químicos utilizados para la desinfección deben ser manejados tomando ciertas precauciones, ya que puede haber riesgos para la salud del personal que lo manipule.



**Figura 27** - Neutralizador de cloro. ETAP de Salamanca.

## Hipocloritos

Peligros:

- Los hipocloritos son corrosivos y el de sodio es además oxidante.
- Peligro de explosión por reacción con calor intenso o combustibles.
- Peligro de inflamación en contacto con ciertos ácidos.

### HIPOCLORITOS. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

**Almacenamiento:** Las áreas de almacenamiento deben estar limpias, frescas y libres de humedad.

**Envases:**

- Mantener los recipientes bien cerrados, etiquetados y ordenados.
- Evitar apilar los envases.

**Manejo:** se debe utilizar una máscara antigás en buen estado y con filtro específico para cloro.

## Cloro gaseoso

### Peligros:

- El gas es tóxico y corrosivo.
- Peligro de explosión por exposición a calor intenso.

### COLORO GASEOSO. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

**Almacenamiento:** En zonas ventiladas, y protegido de la luz directa y la humedad. Se acumula en las zonas más bajas, por lo que nunca almacenar en sótanos. Nunca mezclar el desinfectante con otros compuestos.

#### Envases:

- Colocar las botellas siempre de forma vertical.
- La protección de la válvula debe estar siempre colocada.
- Deben estar correctamente etiquetados y ordenados.

**Manejo:** Se debe utilizar una máscara antigás en buen estado y con filtro específico para cloro.

## Dióxido de cloro

### Peligros:

- El gas es tóxico y corrosivo. Peligro de incendio y explosión (por choque, fricción o calor).
- El clorito de sodio es un oxidante fuerte. Peligro de incendio y explosión.



**Figura 28** – Tanque de clorito sódico para la obtención de dióxido de cloro.

## DÍOXIDO DE CLORO. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

### Almacenamiento:

- Separar de sustancias combustibles y reductoras, ácidos.
- Mantener en lugar fresco. Mantener en lugar seco. Mantener en lugar bien ventilado (en el caso del  $\text{ClO}_2$  realizar la ventilación a nivel del suelo).

### Envases:

- El gas debe confinarse en un sistema cerrado, con el equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones. No exponer a fricción o choque.
- Los envases de clorito deben estar correctamente etiquetados y ordenados.

### Manejo:

- Evitar todo contacto directo.
- Usar guantes protectores y gafas de seguridad.
- Necesaria la ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.

## 5. OZONO

Se trata de un gas azul pálido e inestable, que a temperatura ambiente se caracteriza por un olor picante. A una temperatura de  $-112^\circ\text{C}$  condensa a un líquido azul intenso. El potencial de oxidación del ozono es mayor que el del cloro y el dióxido de cloro, pero tiene una estabilidad menor.

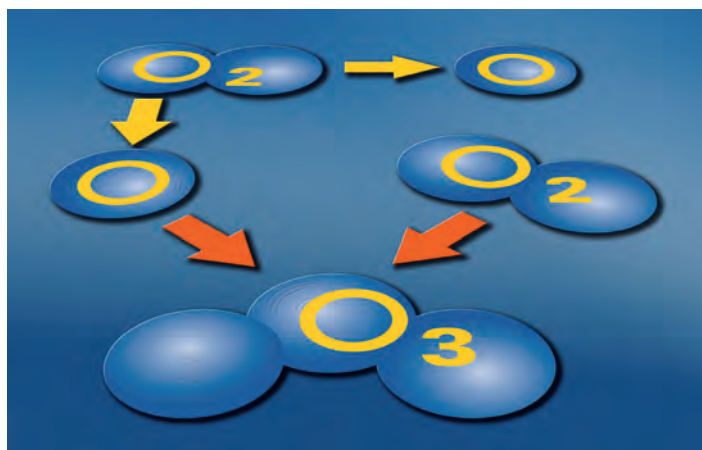


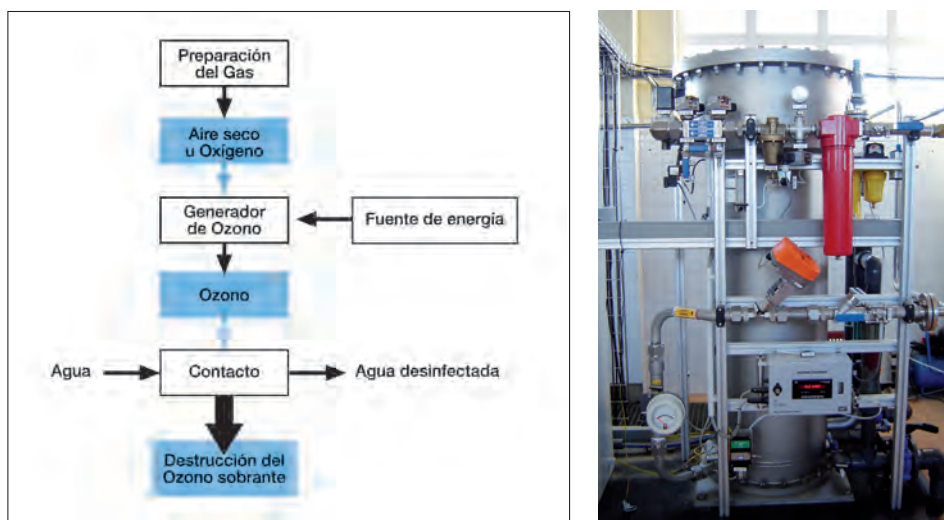
Figura 29- Formación de la molécula de ozono.



## 5.1. MECANISMO DE ACCIÓN

El ozono ( $O_3$ ) es inestable a temperatura y presión ambiente y se descompone rápidamente dando lugar a moléculas de oxígeno ( $O_2$ ). Es uno de los compuestos con mayor potencial redox, de ahí su gran eficacia como biocida. El ozono provoca la oxidación de la pared celular así como del material genético de los microorganismos.

El ozono es un estado alotrópico del oxígeno en el que su molécula, que es la forma estable de presentarse en la naturaleza, se compone de tres átomos. La radiación ultravioleta rompe con gran facilidad la molécula de oxígeno cuando un fotón incide sobre ella dejando libres dos átomos, que al ser inestables tienden a combinarse inmediatamente con las moléculas de oxígeno, muy abundante en la estratosfera, dando lugar a una molécula de ozono ( $O+O_2 = O_3$ ).



**Figura 30** - Etapas de generación de ozono y la desinfección (izquierda). Generador de ozono. ETAP Zamora (derecha).

## 5.2. CONTROL Y MANTENIMIENTO

Para la desinfección secundaria es necesario aplicar otro método que aporte el residuo de desinfección necesario durante la distribución. La cloración se recomienda que sea inmediata a la ozonización para reducir la formación de trihalometanos.



Figura 31 - Ozonificador de la ETAP de Salamanca.

#### Peligros:

- El ozono es un oxidante fuerte. Peligro de incendio o explosión.
- Peligro para el medio ambiente.

En una planta de tratamiento de agua, los monitores de ozono supervisan continuamente las concentraciones de ozono en el agua de las celdas del contactor, en el aire en contacto con el flujo de los gases liberados, y en el aire ambiental dentro y alrededor de la planta de ozono.

Las paralizaciones de los sistemas de ozono debido a fugas son raras, pero sí ocurren debido a fugas en los accesorios y grifos de muestreo.

#### OZONO. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

**Almacenamiento:** Evitar las llamas y el contacto con sustancias inflamables. No producir chispas y no fumar.

**Manejo:** Durante su manejo debe haber ventilación, extracción localizada o protección respiratoria. Usar guantes y pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.

## 6. OTROS PRODUCTOS

### PERMANGANATO POTÁSICO

Se obtiene a partir del dióxido de manganeso ( $MnO_2$ ). Se trata de un compuesto bastante oxidante, que en las ETAP es utilizado principalmente en el control de olor y sabor, y control de crecimiento de microorganismos. También elimina hierro y manganeso, y puede ser útil en el control de precursores de THM y otros subproductos antes de la aplicación de otros desinfectantes. El permanganato potásico inhibe el crecimiento de bacterias y virus, pero no es efectivo con todos los microorganismos, por lo que es necesario aplicar este producto junto con otro tipo de desinfección.



**Figura 32** - Dosificación de permanganato potásico. ETAP de Zamora.

Peligros:

- Reacciona de manera explosiva con muchas sustancias.
- En humanos produce irritación y quemaduras por inhalación, contacto o ingestión. Puede provocar daños en el aparato reproductivo y efectos mutagénicos.

#### PERMANGANATO POTÁSICO. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

**Almacenamiento:** Debe estar protegido de daños físicos, en lugares frescos y bien ventilados. Evitar las llamas y el contacto con sustancias inflamables.

**Envases:** Debe almacenarse en recipientes bien tapados alejados de ácido sulfúrico, peróxido de hidrógeno, combustibles, compuestos orgánicos en general, materiales oxidables.

**Manejo:** Para su manejo debe utilizarse bata, gafas de seguridad y guantes, en un área bien ventilada. Para cantidades grandes, debe usarse, además, equipo de respiración autónoma.

## PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

En el tratamiento del agua de consumo humano, se puede utilizar como oxidante durante el pretratamiento, y como desinfectante, su eficacia biocida es baja, por lo tanto hay que combinarlo con otro sistema. Se utiliza también para la desinfección de superficies.

El uso de dos o más oxidantes combinados permite aprovechar los posibles efectos sinérgicos entre ellos, lo que produce una destrucción adicional de la carga orgánica. Sin embargo, entre las posibles mezclas de agentes oxidantes, la combinación peróxido de hidrógeno y ozono es sin duda la más usada. El proceso pretende combinar la oxidación directa (y selectiva) del ozono con la reacción rápida y poco selectiva de los radicales HO• con los compuestos orgánicos. El uso de UV junto con peróxido de hidrógeno ofrece grandes ventajas: el oxidante es comercialmente muy accesible, es térmicamente estable y puede almacenarse en el lugar.

### Peligros:

- Provoca irritación por inhalación, contacto o ingestión.
- Puede causar dificultad para respirar, riesgo de hemorragias nasales o bronquitis crónica.

### PERÓXIDO DE HIDRÓGENO. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

**Almacenamiento:** Debe estar protegido de daños físicos, en lugares frescos y bien ventilados. Evitar las llamas y el contacto con sustancias inflamables.

**Envases:** Debe almacenarse en recipientes bien cerrados y verificarse que no existan fugas.

**Manejo:** Para su manejo debe utilizarse bata, gafas de seguridad y guantes, en un área bien ventilada.

## 7. COMPARACIÓN DE LOS DESINFECTANTES

Ante la existencia de diferentes métodos de desinfección, es preciso estudiar cual es el más adecuado para las condiciones en cada caso concreto. A continuación se expone una tabla que compara los diferentes desinfectantes definiendo sus ventajas e inconvenientes.

MÉTODO DESINFECCIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>CALOR</b>	Muy simple. No hay cambios en las propiedades del agua. No hay SPD.	La desinfección depende de muchos parámetros. Difícil asegurar la desinfección. No deja desinfectante residual.
<b>CLORO</b>	Es efectivo, de fácil aplicación, y fácilmente medible. Deja desinfectante residual.	Puede producir cambios en el gusto y sabor del agua. Produce SPD.
<b>RADIACIÓN ULTRAVIOLETA</b>	No requiere sustancias químicas, es de fácil aplicación. No produce cambios organolépticos en el agua ni SPD.	No puede utilizarse en aguas con alta DBO. Difícil medición de su eficacia. No deja desinfectante residual.
<b>OZONO</b>	Es muy efectivo. Elimina la materia orgánica. No produce trihalometanos.	Sistema complejo de coste elevado. No deja desinfectante residual.
<b>DÓXIDO DE CLORO</b>	Es efectivo, mejora eliminación del Fe y Mn. No produce trihalometanos	Coste alto. Produce SPD peligrosos.
<b>MICROFILTRACIÓN ULTRAFILTRACIÓN NANOFILTRACIÓN ÓSMOSIS INVERSA</b>	Da lugar a agua de excelente calidad. No hay cambios organolépticos en el agua. No forman SPD.	Sistema complejo que requiere personal formado. No deja desinfectante residual.
<b>PERMANGANATO POTÁSICO</b>	Es de fácil aplicación y de bajo coste. No forma SPD. Elimina el Fe y Mn.	No es efectivo con todos los microorganismos.

SPD: Subproductos de la desinfección.

**Tabla 3** - Tabla comparativa de los diferentes métodos de desinfección.





Subproductos





# Subproductos

El agua que va a ser sometida al proceso de desinfección puede contener precursores orgánicos, fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, que reaccionan con el desinfectante, dando lugar a la aparición de una serie de sustancias indeseables, algunas de las cuales tienen comprobada su capacidad tóxica para el hombre.

## 1. EFECTOS SOBRE LA SALUD

Los efectos en la salud humana debido a los subproductos de la desinfección son muy pequeños comparados con el riesgo de consumir agua sin desinfectar. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la exposición prolongada a estas sustancias, puede afectar de forma negativa a la salud.

En el caso de los trihalometanos, la forma más frecuente de ingestión es mediante el consumo de agua, la absorción cutánea tiene lugar mayoritariamente en piscinas, y en cuanto a la vía respiratoria los THM pueden estar presentes en el aire y por tanto son susceptibles ser inhalados, ya que es un componente que se volatiliza en la evaporación del agua caliente clorada (duchas, baños, lavado de platos y de ropa, humidificadores). Los efectos negativos sobre la salud se resumen a continuación.

### POSIBLES EFECTOS SOBRE LA SALUD

- Daños en el aparato reproductor (disminución de la fertilidad, riesgo de aborto espontáneo, etc.).
- Problemas durante el embarazo (daños en el feto).
- Riesgo de desarrollar cáncer (vejiga urinaria, colon y recto son los más frecuentes).

### FORMAS DE EXPOSICIÓN A LOS SUBPRODUCTOS

- Ingestión por vía oral.
- Absorción cutánea.
- Inhalación a través de las vías respiratorias.

Figura 33- Efectos de los subproductos sobre la salud.

## 2. TIPOS DE SUBPRODUCTOS

En función del método de desinfección que se utilice se formarán diferentes subproductos.

### 2.1. CLORACIÓN

Los subproductos mayoritarios de la cloración son:

#### Trihalometanos

El término 'Trihalometanos Totales' (THMT) tiene en cuenta cuatro subproductos de la desinfección que pueden encontrarse en una muestra de agua: el cloroformo, el bromodiclorometano (los dos más frecuentes), el dibromoclorometano y el bromoformo. Estas sustancias son un peligro para la salud, ya que son considerados potencialmente cancerígenos para el hombre, algunos pueden producir daños en órganos como hígado o riñón, mientras que otros tienen efectos sobre la reproducción.

La reacción entre cloro y la materia orgánica natural se inicia desde la adición del desinfectante y se mantiene hasta el agotamiento de los reactantes, la oxidación por el ácido hipocloroso permite una halogenación y la iniciación del ciclo aromático.

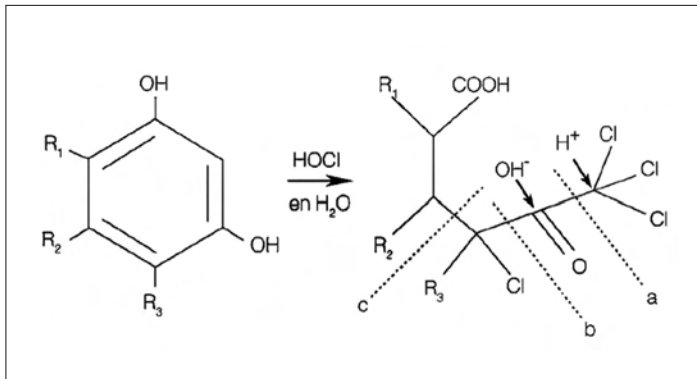


Figura 34 - Formación de los trihalometanos.

La formación de estos compuestos es mayor al aumentar la concentración de cloro, la materia orgánica, la temperatura y el pH del agua, así como con el tiempo de contacto del cloro con el agua.

### Ácidos haloacéticos

Es una familia de compuestos orgánicos basados en la molécula del ácido acético ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ), en la que uno o más átomos de hidrógeno unidos a los átomos de carbono son reemplazados por un elemento halógeno. Son incoloros, presentan una baja volatilidad, se disuelven fácilmente en el agua y son relativamente estables.

Entre los factores que influyen en su formación, el efecto que más se ha estudiado es el del pH, observándose que al disminuir éste la concentración de ácidos acéticos trihalogenados tiende a aumentar.

Algunos de ellos pueden producir problemas de cáncer, o causar efectos sobre la reproducción y desarrollo.

Hay otros subproductos que se forman debido a la cloración pero en menor concentración:

- Acetonitrilos halogenados.
- MX (mutágeno X).
- Hidrato de cloral.
- Clorofenoles.
- Otros (haloacetonas, cloropicrina, cloruro y bromuro de cianógeno).

El *cloruro de cianógeno* es el subproducto más importante de la cloraminas. Este subproducto es el resultado de las reacciones de precursores orgánicos con el ácido hipocloroso en presencia de ión amonio. Así, las concentraciones de cloruro de cianógeno son algo mayores para la cloraminación que para la cloración.

## 2.2. DIÓXIDO DE CLORO

Entre los productos de la reacción del dióxido de cloro con material orgánico se encuentran:

- Clorito.
- Clorato.

Durante el proceso de oxidación, el dióxido de cloro se reduce a ión clorito, que es el subproducto más característico de este compuesto de cloro. El ión clorito a su vez puede ser oxidado a clorato.

Los dos pueden romper los glóbulos rojos de la sangre y también pueden reaccionar con la hemoglobina para formar metahemoglobina. Asimismo pueden tener efectos negativos sobre el desarrollo y la reproducción.

## 2.3. RAYOS ULTRAVIOLETA

La luz ultravioleta desinfecta sin producir cambios físicos o químicos considerables en el agua. No se conoce que haya efectos directos en la salud de los consumidores de agua desinfectada con este método. En el proceso de desinfección no se agrega ninguna sustancia, por lo que no hay riesgo de que se formen subproductos, tampoco altera el sabor ni el olor del agua.

## 2.4. OZONO

El ozono en la desinfección reacciona con material orgánico natural en el agua y forma los siguientes subproductos:

- Bromatos.
- Bromoformo.
- Ácido bromoacético.

- Aldehídos (formaldehídos y acetaldehídos entre ellos).
- Cetonas.
- Ácidos carboxílicos.

Los más problemáticos para la salud son los aldehídos y cetonas, que son mutagénicos, y también los bromatos, que pueden producir cáncer y se forman cuando existen bromuros como precursores.

### 3. PREVENCIÓN DE LA FORMACIÓN DE SUBPRODUCTOS

La cantidad de subproductos formados durante el proceso de desinfección se ve influida por varios aspectos que deben tenerse en cuenta para prevenir su aparición. En la siguiente tabla se citan los diferentes factores y sus efectos.

FACTOR CONSIDERADO	FORMACIÓN DE SUBPRODUCTOS
TIPO DE DESINFECTANTE	Depende de la reactividad del desinfectante.
Dosis de desinfectante	Aumenta con la dosis.
Tiempo de contacto	Aumenta con el tiempo de contacto.
Turbidez	El aumento de turbidez asociado a la materia orgánica incrementa los precursores y subproductos
pH	El pH influye en gran medida. Depende del desinfectante.
Materia orgánica disuelta	El incremento de materia orgánica disuelta aumenta los precursores y subproductos de la desinfección.
Temperatura	El incremento de temperatura conlleva una más rápida reacción de oxidación, y por tanto un incremento en la formación de subproductos de la desinfección.

**Tabla 4** - Factores que afectan a la formación de subproductos.

Los subproductos una vez formados, son difíciles de eliminar, por esta razón se debe evitar en lo posible su formación durante las etapas de tratamiento del agua. Así, en función de las características del agua se podrán adoptar las siguientes medidas preventivas:

- a) Disminuir los precursores orgánicos:
  - Controlando la calidad de las fuentes de abastecimiento de agua.
  - Filtrando el agua con carbón activo antes de la aplicación del desinfectante. Es muy eficaz pero tiene como inconveniente su elevado costo.
  - Limpiando frecuentemente las instalaciones para la eliminar las algas.
  - Mejorando los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Facilita la eliminación de la materia orgánica natural, evitando así su reacción con los desinfectantes para dar lugar a compuestos halogenados.
- b) Evitar el uso del cloro gas o hipocloritos sustituyéndolos por ozono, dióxido de cloro o cloraminas, que no reaccionan con los precursores de los halometanos.
- c) Cloración por etapas, evitando la presencia de cloro libre antes de la filtración.
- d) Eliminar el proceso de la precloración, como etapa inicial de los tratamientos.

#### ANEXO I del Real Decreto 140/2003. Parámetros y valores paramétricos

**TRIALOMETANOS :** Para la suma de trihalometanos (THMs), el valor paramétrico será de 100  $\mu$ g/l. Se determinarán cuando se utilice el cloro o sus derivados en el proceso de desinfección.

En los casos en que los niveles estén por encima del valor paramétrico, se determinarán: 2, 4, 6 -triclorofenol u otros subproductos de la desinfección a la salida de la ETAP o depósito de cabecera.

**CLORITOS:** Se determinarán si se utiliza el dióxido de cloro en el proceso de desinfección. Se mide a la salida de la ETAP o del depósito de cabecera.

**NITRITOS:** Se determinarán cuando se utilice la cloraminación como método de desinfección:

- En la red de distribución, el valor paramétrico es de 0,5 mg/l.
- En la salida de la ETAP/ depósito, el valor paramétrico es de 0,1 mg/l.

**BROMATO:** Se determinará sólo cuando se utilice ozono en el tratamiento de potabilización y se determinará al menos a la salida de la ETAP. Valor paramétrico es de 10  $\mu$ g/l.



Mantenimiento





# Mantenimiento

Para que el sistema funcione adecuadamente y la desinfección sea eficiente hay que realizar labores de mantenimiento de los sistemas y equipos. Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El personal debe tener las instrucciones de mantenimiento del equipo con el que está trabajando.
- Los problemas, aunque sean pequeños, hay que solucionarlos lo antes posible para que no deriven en daños mayores de solución más complicada y costosa.
- Las actividades de mantenimiento deben registrarse en el protocolo de auto-control y gestión del abastecimiento como se indica en el Programa de Vigilancia Sanitaria del Agua de Consumo Humano de Castilla y León.
- Se debe informar al personal competente de las posibles causas de los problemas encontrados y las consecuencias que puede tener en el sistema.
- Es necesario desinfectar todo el sistema antes de ponerlo en funcionamiento por primera vez, tras una parada del proceso o en otras situaciones en que sea necesaria la desinfección.

A continuación se muestran las actividades de mantenimiento fundamentales en diferentes equipos.

## **Sedimentadores**

- Revisar, reacondicionar y limpiar el sedimentador.
- Verificar la aparición de fisuras y otros daños en la estructura.

- Retirar los lodos y partículas sedimentadas.
- Revisar de válvulas y compuertas.
- Comprobar el buen estado de la pintura en las partes metálicas para evitar corrosión.

### **Filtros**

- Revisar, reacondicionar y limpiar el filtro.
- Reponer el material filtrante que se haya retirado.
- Verificar la aparición de fisuras y otros daños en la estructura.
- Revisar las válvulas y compuertas.
- Comprobar el buen estado de la pintura en las partes metálicas para evitar corrosión.

### **Dosificadores**

- Revisar, reacondicionar y limpiar los dosificadores.
- Revisar válvulas y compuertas.
- Revisar el motor.
- Verificar la estabilidad en el funcionamiento y detectar vibraciones.
- Limpiar, calibrar y lubricar los mecanismos de dosificación.
- Revisar la pintura en las partes metálicas para evitar corrosión.

### **Equipo de radiación ultravioleta**

- Controlar la intensidad de la radiación: es necesario un control continuo de la intensidad emitida para mantener la eficacia.
- Limpiar las camisas: mínimo una vez al mes, para no disminuir la intensidad de emisión.
- Cambiar las lámparas: normalmente tienen una vida útil de nueve meses a un año de duración. Se cambia cuando ha perdido aproximadamente un 25% de la intensidad que emitía al inicio de su vida.
- Controlar la turbidez: La turbidez disminuye la eficacia, ya que los sólidos en suspensión absorben más fácilmente la luz UV que el agua.
- Aplicar desinfectante químico: Como la luz ultravioleta no deja desinfectante residual, es necesario desinfectar el sistema con un tratamiento químico, antes de activarlo por primera vez, y cuando se produzcan contaminaciones externas.



# Problemas frecuentes en la desinfección



# Problemas frecuentes en la desinfección

Durante el tratamiento del agua pueden surgir problemas asociados al proceso de desinfección que pueden alterar la calidad del agua.

## 1. PÉRDIDA DE DESINFECTANTE RESIDUAL

### Causas

Para asegurar la salubridad del agua de consumo, hay que mantener una concentración mínima de desinfección residual durante la distribución y hasta que llegue al consumidor. La pérdida de desinfectante residual es función de:

- El tiempo de contacto durante la desinfección.
- El tiempo transcurrido desde la desinfección.
- La temperatura del agua.
- La reactividad del carbono orgánico del agua.

### Soluciones

- Aplicar un tiempo de contacto suficiente para minimizar las pérdidas de desinfectante residual.

- Utilizar compuestos más estables en la desinfección secundaria, como las cloraminas.
- Reducir niveles de carbono orgánico del agua durante su tratamiento.

## 2. APARICIÓN DE COLOR Y TURBIDEZ

### Causas

- **Coagulación.** Una coagulación incorrecta puede favorecer la aparición de olores y sabores desagradables para el consumidor. Este proceso requiere un control cuidadoso en la adición del coagulante, ya que la dosificación correcta varía a lo largo del tiempo en función de muchos factores que pueden alterarse fácilmente. Asimismo el control de las variaciones de pH del agua durante el proceso es de vital importancia, ya que tiene gran influencia en su calidad y puede aumentar el color y turbidez. La presencia de algas en los embalses es uno de los factores que frecuentemente produce cambios estacionales y diarios en la calidad del agua de entrada, pudiendo alterar su pH.
- **Filtración.** Durante la filtración las algas se acumulan e incluso crecen en los medios filtrantes y pueden proporcionar olores y sabores asociados si no se mantienen bajo control.
- **Cloración.** El cloro por sí mismo tiene olor característico y en concentraciones altas puede causar rechazo por parte del consumidor.
- **Cloraminación.** El amoníaco al reaccionar con el cloro produce cloraminas, compuestos más olorosos que el cloro libre que son desagradables (sobre todo la tricloramina) cuando su concentración es elevada. La proporción de estos compuestos depende principalmente de la proporción cloro/amoniaco utilizado y del pH.

### Soluciones

- Ajustar dosis de coagulante y pH. Debe aplicarse la dosis de coagulante más adecuada para minimizar los problemas. La dosis debe calcularse teniendo en cuenta la influencia que el pH ejerce en ellos, ya que, generalmente, las mejo-

res condiciones para eliminar la turbidez y el color no coinciden con aquellas para la mínima solubilidad del aluminio.

- Alcanzar un equilibrio entre la protección de la salud pública y obtener agua de buena calidad organoléptica.
- Utilizar una relación alta de cloro/amoniaco cuando se utilice cloraminación en la desinfección, de este modo, el cloro residual presente está principalmente en forma libre.
- Limpiar regularmente los filtros mediante flujo inverso para controlar el desarrollo de los microorganismos que causan sabores y olores.
- Tratamientos específicos:
  - Adsorción. Se puede utilizar adsorción física mediante carbón activo o adsorción biológica utilizando una película biológica que crece sobre un material húmico natural como la turba.
  - Aireación. Mediante este proceso se desprende del agua cualquier compuesto oloroso volátil.
  - Oxidación química utilizando ozono, permanganato potásico, cloro o dióxido de cloro para descomponer los compuestos olorosos.

### 3. OLOR Y SABOR EN EL AGUA

El olor y sabor son dos parámetros que somos capaces de percibir debido al contacto de una sustancia con las células receptoras que captan los estímulos de naturaleza química. Deben ser controlados, ya que son factores de calidad que pueden afectar a la aceptabilidad del agua para consumo humano y su presencia puede estar causada por algún tipo de contaminación.

El sabor, suelen estar muy relacionado con la concentración de sales, y la temperatura influye en gran medida en grado de apreciación por parte del consumidor.

Las principales sustancias que pueden dar lugar a olores y sabores al agua son los siguientes:

- Compuestos orgánicos.

- La presencia en el agua de los siguientes compuestos pueden causar aparición de olor y sabor en el líquido: hierro, cobre, zinc y manganeso pueden producir sabores, y el sulfuro de hidrógeno puede influir tanto en su sabor como en su olor.
- Metabolitos orgánicos procedentes de microorganismos.

Como resultados del metabolismo de actinomicetos y algas cianofíceas se producen sustancias orgánicas que pueden conferir al agua sabor y olor, los más frecuentes son los alcoholes alicíclicos.

- Subproductos de la desinfección.

Una las consecuencias de la desinfección del agua es la formación de subproductos como clorofenoles, cloraminas y aldehídos, en el caso de utilización del cloro como desinfectante, o aldehídos, si se aplica ozono, que originan la aparición de olor y sabor en el agua.

- Contaminantes industriales.

Sustancias que proceden de la actividad industrial como hidrocarburos, disolventes clorados o fitosanitarios, pueden causar sabor y olor en el agua.

Para la determinación del olor y del sabor en el agua, se utiliza el método de las diluciones en el que se determina el grado de dilución necesario para conseguir que el olor y sabor no se perciban. Se realiza mediante un panel de catadores, que comparan muestras de agua cada vez mas diluidas hasta llegar a la muestra donde el olor y el sabor no se aprecien. El índice de dilución se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{índice de dilución} = \frac{V_i + V_a}{V_i}$$

Donde:

**V<sub>i</sub>** = volumen de la muestra inicial.

**V<sub>a</sub>** = volumen mínimo de agua que es necesario añadir en la muestra inicial de agua para que olores y sabores extraños no se perciban.



## 4. AUMENTO DEL ALUMINIO SOLUBLE

### Causas

- La adición de compuestos de aluminio durante el proceso de coagulación, puede dejar residuos de este metal en su forma soluble o insoluble. Las formas solubles, más difíciles de eliminar, pueden depositarse en el sistema de distribución.
- Tanto el pH del agua como la dosis de coagulante pueden causar aumento de la solubilidad del aluminio y elevar la concentración de este compuesto en el agua.

### Soluciones

- Aplicar los coagulantes en la dosis adecuada en función del pH, para conseguir la mínima solubilidad posible del aluminio en el agua.
- Las formas insolubles del aluminio, normalmente pueden eliminarse mediante una filtración eficiente.

## 5. NITRITOS

### Causas

- El nitrito es un tóxico que pueden estar presentes en el agua debido al proceso de cloraminación en las plantas de tratamiento. El amoníaco en exceso actúa como fuente de nutrientes para la nitrificación, produciendo nitritos o nitratos.

### Soluciones

- Aplicar en la cloraminación una relación de cloro/amoniaco adecuada, para reducir el amoníaco sobrante.
- Si los problemas persisten, reemplazar la cloraminación por otros procesos de desinfección.

## 6. CONTAMINACIÓN PROCEDENTE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

### Causas

El deterioro de los materiales de las conducciones y los tanques de almacenamiento también puede disminuir de la calidad del agua, como por ejemplo la disolución de plomo y el cobre de las paredes, o la oxidación de los materiales de hierro (tabla 5).

MATERIAL	RESISTENCIA A LA CORROSIÓN	CONTAMINACIÓN POTENCIAL
COBRE	Resiste bien la corrosión, pero si el agua es blanda (tiene poco calcio y magnesio), tiene un pH bajo, o hay presencia de oxígeno disuelto o de cloro en el agua, aumenta el peligro de corrosión.	Cobre.
PLOMO	Sufre corrosión en aguas blandas con bajo pH.	Plomo.
ACERO	Sufre corrosión uniforme, particularmente con altos niveles de oxígeno disuelto.	Hierro, que trasfiere color rojo al agua.
HIERRO GALVANIZADO	Puede causarse la corrosión del hierro y zinc.	Hierro y Zinc.
ASBESTO-CEMENTO	Buena resistencia a la corrosión. Aguas duras pueden causar lixiviación del calcio del cemento.	Fibras de asbesto.
PLÁSTICO	Resistente a la corrosión.	-

Tabla 5 - Resistencia a la corrosión de los materiales utilizados en los elementos estructurales.

### Soluciones

Para evitar problemas de corrosión se utilizan sistemas construidos con materiales plásticos, como el polietileno y el cloruro de vinilo.



Autocontrol.  
Toma de muestras



# Autocontrol. Toma de muestras

Para verificar que el agua está en condiciones aptas para su consumo se debe realizar periódicamente un autocontrol que incluye diferentes tipos de análisis. Se realizará siempre de acuerdo a lo indicado en el Anexo V del Real Decreto 140/2003.

Los aspectos más importantes se describen en el siguiente cuadro:

## AUTOCONTROL

**Finalidad:** Verificar la calidad del agua suministrada a través de la red de distribución.

**Responsable:** El gestor de cada una de las partes del abastecimiento.

**Tipos de análisis:**

- Examen organoléptico: Valoración de las características organolépticas del agua.
- Análisis de control: Valoración de la calidad organoléptica y microbiológica del agua y de la eficacia del tratamiento de potabilización.
- Análisis completo: Comprobación amplia de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua.

## 1. PUNTOS DE MUESTREO

El objetivo del muestreo es determinar la calidad del agua que llega al grifo del usuario, que puede ser la misma o diferente que la existente a la salida de la planta de tratamiento. Esto es debido a que el agua ya tratada puede volver a contaminarse durante la distribución o el almacenamiento.

Los puntos de muestreo deberán ser representativos del abastecimiento o partes del mismo. Se fijarán al menos los siguientes puntos de muestreo:

- 1 a la salida del depósito de cabecera.
- 1 a la salida del depósito de regulación y/o distribución
- 1 en cada uno de los puntos de entrega a otros gestores.
- Varios puntos en la red que sean representativos del agua total y otros en zonas de mayor riesgo:
  - Puntos terminales de red.
  - Zonas donde la red sea más antigua.
  - Puntos donde existan denuncias de los consumidores por mala calidad del agua.
  - Zonas de ampliación urbanística.

En las siguientes figuras, se muestran ejemplos de selección de puntos de muestreo en diferentes sistemas de distribución del agua para consumo humano.

### Sistemas de distribución abiertos:

- A la salida de la planta de tratamiento para verificar la efectividad de la desinfección y comprobar la calidad del agua.

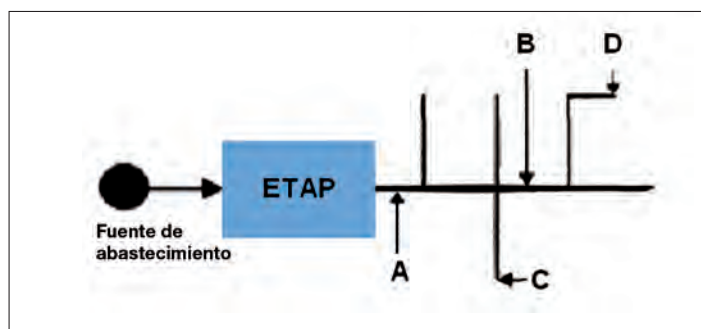


Figura 36 - Sistema de distribución abierto.

- En un punto donde las muestras sean representativas del conducto principal de distribución.
- En un punto representativo de los conductos secundarios.
- Al final del sistema de distribución.

**Sistemas de distribución cerrados:**

- A la salida de la planta de tratamiento para verificar la efectividad de la desinfección y comprobar la calidad del agua.

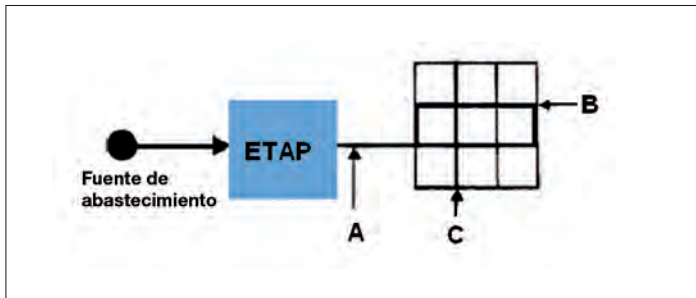


Figura 37 - Sistema de distribución cerrado.

- En un punto donde las muestras sean representativas del conducto principal de distribución.
- En un punto representativo de los conductos secundarios.

**Sistemas de distribución mixtos:** pueden existir varias fuentes de abastecimiento, y tener una parte del sistema cerrada y otra parte abierta, en estos casos el muestreo es algo más complicado.

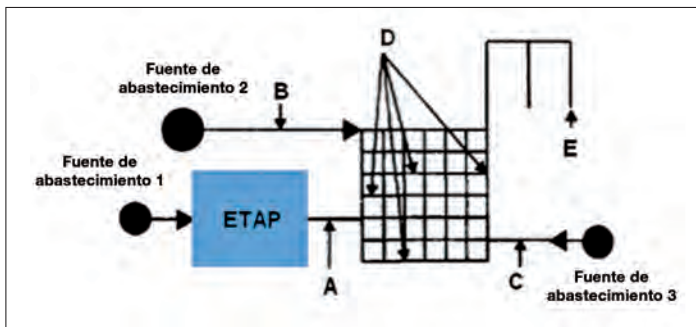


Figura 38 - Sistema de distribución mixto.

- En la zona donde el agua de la fuente de abastecimiento 1 entra en el sistema de distribución.
- En la zona donde el agua de la fuente de abastecimiento 2 entra en el sistema de distribución.
- En la zona donde el agua de la fuente de abastecimiento 3 entra en el sistema de distribución.
- En los puntos donde las muestras sean representativas del agua en el sistema de distribución cerrado (que en este caso es un sistema principal).
- En aquellos puntos que sean representativos del agua en el sistema abierto, al menos en un ramal secundario y al final del sistema.

## 2. MATERIAL

Para el muestreo se debe utilizar envases adecuados que reúnan las siguientes características

- Material que no modifique o contamine el agua.
- El envase debe estar esterilizado. Pueden ser desechables, o si son reutilizables debe permitir su esterilización y debe tener resistencia mecánica. La esterilización se realiza en autoclave manteniendo una temperatura determinada durante un intervalo de tiempo definido. Normalmente los recipientes se mantienen a 121 °C durante 15 minutos.
- Cuello de llenado con diámetro suficientemente grande.
- Cierre hermético y de fácil apertura.
- Tamaño suficiente para el tipo de muestra a realizar.
- Fácil manejo.
- Posibilidad de reutilización.

Si la muestra tomada para el análisis microbiológico tiene cloro residual, éste continuará actuando sobre los microorganismos que haya en el agua, lo que puede falsear los resultados. Para evitar esto, es común añadir a la muestra un compuesto que inactive el cloro residual y no afecte a los microorganismos (el tiosulfato de sodio es frecuentemente utilizado).



### 3. TOMA DE MUESTRA

Las muestras pueden recogerse y analizarse de dos formas: muestreo discreto o continuo. La monitorización continua se realiza mediante sistemas automatizados con sensores. Las muestras directas requieren mayor tiempo y mano de obra, aunque el coste es mucho menor.

Es de gran importancia realizar el muestreo de forma correcta, ya que una muestra mal tomada, dará lugar a unos resultados erróneos. Muchas de las muestras que resultan estar contaminadas, es debido a un error de muestreo, no porque el agua esté realmente contaminada. Para asegurar que esto no ocurre, es necesario seguir el siguiente procedimiento:



**1.** Marcar el recipiente con el código correspondiente para su correcta identificación. Asegurarse de que las manos están bien limpias antes de coger la muestra.



**2.** Quitar filtros, mangueras y difusores que pueda llevar el grifo.



**3.** Desinfectar el grifo limpiándolo con una gasa estéril y alcohol o lejía diluida.



**4.** Abrir el grifo de agua fría y dejar correr el agua durante al menos 2 minutos. Así se evita tomar agua que ha estado estancada en los conductos, y que por lo tanto no es una muestra representativa.



**5.** Dejar caer el agua directamente dentro del recipiente hasta que se llene.



**6.** Tapar el recipiente fuertemente, teniendo especial cuidado de no tocar el interior del recipiente o de su tapa.



**7.** Rellenar el registro de la toma de agua.

Para evitar la contaminación de la muestra, se seleccionarán aquellos puntos de muestreo que no estén cercanos al suelo, ya que suelen estar más limpios. También se debe manipular el recipiente lo menos posible, ya que cuanto más se exponga la muestra a factores externos, mayor es la posibilidad de contaminación del agua.

#### 4. TIPOS DE ANÁLISIS

Los análisis que se realizan en el autocontrol van dirigidos a verificar diferentes aspectos sobre de la calidad del agua. Los análisis se clasifican en cuatro grupos:

**Nivel de desinfectante residual**

A la salida de la ETAP o del depósito con sistema de cloración, el agua debe contener un mínimo de 0,5 mg/l de cloro libre residual, manteniéndose un valor mínimo de 0,2 mg/l en todos los puntos de la red de distribución permanentemente. Si dicho valor mínimo no se alcanzara en el punto más alejado de la red, se procederá a tomar muestra por parte del gestor/municipio para análisis bacteriológico donde se determinarán *Escherichia coli* y bacterias coliformes y, además, se contemplará la instalación de un sistema de recloración. El intervalo recomendado de cloro libre residual (CLR) en red de distribución se establece entre 0,2 y 0,6 mg/l.

**Examen organoléptico.** Valoración de las características organolépticas del agua.

**Análisis de control.** Valoración de la calidad organoléptica y microbiológica del agua y de la eficacia del tratamiento de desinfección.

En función de la ubicación del punto de muestreo y de las características del abastecimiento, los análisis de control incluirán las siguientes determinaciones.

- A la salida de la ETAP/depósito de cabecera: parámetros del análisis organoléptico, físico-químico y microbiológico.
- A la salida del depósito de regulación y/o distribución (cuando exista ETAP/ depósito de cabecera) y en red de distribución: parámetros del análisis organoléptico, físico-químico y microbiológico, excepto el hierro y el aluminio.

**Análisis completo.** Comprobación amplia de las características físico-químicas y microbiológicas del agua. Los controles que abarca son los siguientes.

- Parámetros del anexo I del Real Decreto 140/2003,
- Radiactividad: se harán en concordancia con lo publicado por el Ministerio de Sanidad y Política Social.

Como se describe en el siguiente esquema los parámetros analizados en cada caso dependen de la naturaleza del análisis requerido.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	
• pH.	• Hierro y/o aluminio. Cuando se utilicen como floculantes.
• Amonio.	• Cloro libre residual. Cuando se utilice el cloro.
• Conductividad.	• Nitritos y cloro combinado residual. Cuando se utilice la cloraminación.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO
• <i>Escherichia coli</i> .	• Olor.
• Bacterias coliformes.	• Sabor.
• Recuento de colonias a 22°C.	• Color.
• <i>Clostridium perfringens</i> (incluidas esporas).	• Turbidez.

Figura 39 - Parámetros analizados en el agua según el tipo de análisis.

## 5. FRECUENCIA

La frecuencia y el número de muestras dependen del volumen de agua tratada, y se debe cumplir los siguientes requisitos:

### Número de muestras

- Debe ser representativo del abastecimiento.
- Se debe distribuir uniformemente a lo largo de todo el año.

### Frecuencia

- Nivel de desinfectante residual: una vez por semana a la salida de la ETAP o depósito donde se realice la desinfección, y una vez al día en distintos puntos de la red de forma rotativa dando prioridad a puntos terminales de red.
- Análisis de control: según anexo V del Real Decreto 140/2003.
- Análisis completo: según anexo V del Real Decreto 140/2003.
- Examen organoléptico: al menos dos veces por semana cuando no se realice otro tipo de análisis en ese periodo.

La autoridad sanitaria, cuando juzgue que pudiera existir un riesgo para la salud de la población, velará para que el gestor incremente la frecuencia de muestreo para aquellos parámetros que ésta considere oportunos.

## 6. CUALIFICACIÓN DEL MÉTODO

Todo laboratorio público o privado que realice determinaciones para los análisis de control y análisis completo del autocontrol, vigilancia sanitaria o control en grifo del consumidor deberá implantar un sistema de aseguramiento de la calidad y validarlo ante una unidad externa de control de calidad, que realizará periódicamente una auditoría.

Toda entidad pública o privada que realice dicha auditoría deberá estar acreditada por el organismo competente.

Los laboratorios que no estén acreditados por la UNE-EN ISO/IEC 17025 o la vigente en ese momento, al menos deberán tener la certificación por la UNE-EN ISO 9001 o la vigente en ese momento.

Los métodos de ensayo utilizados por los laboratorios se ajustarán a lo especificado en el anexo IV del RD 140/2003.

Los ensayos normalizados se pueden realizar de acuerdo a las siguientes normas.

### **NORMAS UNE-EN**

Las normas UNE-EN son la adopción de normas armonizadas europeas (Normas CEN, Comité Europeo de Normalización). Con ellas se establecen las características que debe tener cada sustancia, los límites de residuos o contaminantes, la dosificación recomendada, y los métodos normalizados para su análisis cualitativo y cuantitativo.

Son adoptadas tras la aprobación de un órgano específico dentro de la estructura de normalización nacional de la Asociación Española de Normalización y Acreditación (AENOR)

### **NORMAS ISO**

Son las normas internacionales desarrolladas por la Organización Internacional para la Normalización cuyo objetivo es la estandarización de normas a nivel internacional.

**Validación:** Confirmación mediante el suministro de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos para una utilización o aplicación específica prevista, permite demostrar a los laboratorios que sus métodos analíticos proporcionan resultados fiables.

Los criterios de calidad que al menos deben verificarse son la exactitud, la precisión y la incertidumbre de los resultados obtenidos con el método ya que, de esta forma, se obtienen resultados rastreables y comparables.

Según la norma ISO/IEC 17025, los laboratorios deben validar todos los métodos que se utilicen en el laboratorio, tanto los desarrollados por ellos mismos como aquellos procedentes de fuentes bibliográficas o desarrollados por otros laboratorios.

Los criterios de calidad de los resultados obtenidos con el método que se verifican son la exactitud, la precisión, el límite de detección y el límite de cuantificación, de esta forma, se obtienen resultados rastreables y comparables.

**Límite de detección.** Este parámetro indica el nivel más bajo en el que puede cuantificarse la concentración de la sustancia analizada con un grado dado de confianza.

**Límite de cuantificación.** Es la mínima concentración de analito que se puede determinar con un nivel aceptable de precisión y exactitud.

**Exactitud.** La exactitud mide la falta de error sistemático, es el grado en que los resultados medios de varias determinaciones se aproximarían al valor verdadero. Se evalúa en la validación por comparación con los valores de referencia de un material de referencia, o con valores tomados de otro método caracterizado.

**Precisión.** Es el grado de coincidencia entre repetidas determinaciones independientes realizadas con el mismo material de ensayo. Mide la proximidad entre los valores obtenidos, y generalmente se expresa por medidas como la desviación estándar, que describe la dispersión de los resultados.



Anexos





# Anexo 1.

## PARÁMETROS Y VALORES PARAMÉTRICOS.

### ANEXO I DEL R.D. 140/2003.

<b>A. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>		
Parámetro	Valor Paramétrico	Notas
1. Escherichia coli	0 UFC en 100 ml	
2. Enterococo	0 UFC en 100 ml	
3. Clostridium perfringens (incluidas las esporas)	0 UFC en 100 ml	Cuando la determinación sea positiva y exista una turbidez mayor 5 UNF se determinarán, en la salida de ETAP o depósito, si la autoridad sanitaria lo considera oportuno Cryptosporidium u otros microorganismos o parásitos.

<b>B.1. PARÁMETROS QUÍMICOS</b>		
Parámetro	Valor Paramétrico	Notas
4. Antimonio	5.0 µg/l	
5. Arsénico	10 µg/l	
6. Benceno	1.0 µg/l	
7. Benzol (α)pireno	0.010 µg/l	
8. Boro	1.0 mg/l	
9. Bromato: A partir de 01/01/2009 De 01/01/2004 a 31/12/2008	10 µg/l 25 µg/l	Se determinará cuando se utilice el ozono en el tratamiento de potabilización y se determinará a menos a la salida de la ETAP.
10. Cadmio	5.0 µg/l	
11. Cianuro	50 µg/l	
12. Cobre	2.0 mg/l	
13. Cromo	50 µg/l	
14. 1,2-Dicloroetano	3.0 µg/l	
15. Fluoruro	1.5 mg/l	

**B.1. PARÁMETROS QUÍMICOS**

Parámetro	Valor Paramétrico	Notas
16. Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA), suma (en µg/l) de: Benzo(b)fluoranteno, Benzo(ghi)perileno, Benzo(k)fluoranteno, Indeno(1,2,3cd)pireno	0.10 µg/l	
17. Mercurio	1.0 µg/l	
18. Microcistina	1 µg/l	Sólo se determinará cuando exista sospecha de eutrofización en el agua de la captación, se realizará determinación de microcistina a la salida de la ETAP o depósito de cabecera.
19. Níquel	20 µg/l	
20. Nitrato	50 mg/l	Se cumplirá la condición de que $[\text{nitrato}]/50 + [\text{nitrito}]/3 < 1$ . Donde los corchetes significan concentraciones en mg/l para el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y para el nitrito ( $\text{NO}_2$ ).
21. Nitritos: Red de distribución En salida de la ETAP/depósito.	0.5 mg/l 0.1 mg/l	Se cumplirá la condición de que $[\text{nitrato}]/50 + [\text{nitrito}]/3 < 1$ . Donde los corchetes significan concentraciones en mg/l para el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y para el nitrito ( $\text{NO}_2$ ). Se determinará cuando se utilice la cloraminación como método de desinfección.
22. Total de plaguicidas	0.50 µg/l	Suma de todos los plaguicidas definidos en el apartado 10 del artículo 2 que se sospeche puedan estar presentes en el agua. Las comunidades autónomas velarán para que se adopten las medidas necesarias para poner a disposición de la autoridad sanitaria y de los gestores del abastecimiento el listado de plaguicidas fitosanitarios utilizados mayoritariamente en cada una de las campañas contra plagas del campo y que puedan estar presentes en los recursos hídricos susceptibles de ser utilizados para la producción de agua de consumo humano.

**B.1. PARÁMETROS QUÍMICOS**

Parámetro	Valor Paramétrico	Notas
23. Plaguicida individual excepto para los casos de Aldrín, Dieldrín, Heptacloro, Heptacloro epóxido.	0.10 µg/l  0.03 µg/l	Las comunidades autónomas velarán para que se adopten las medidas necesarias para poner a disposición de la autoridad sanitaria y de los gestores del abastecimiento el listado de plaguicidas fitosanitarios utilizados mayoritariamente en cada una de las campañas contra plagas del campo y que puedan estar presentes en los recursos hídricos susceptibles de ser utilizados para la producción de agua de consumo humano.
24. Plomo: A partir de 01/01/2014 De 01/01/2004 a 31/12/2013	10 µg/l 25 µg/l	
25. Selenio	10 µg/l	
26. Trihalometanos (THMs), suma de Bromodichlorometano, Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano (en µg/l): A partir de 01/01/2009 De 01/01/2004 a 31/12/2008	100 µg/l 150 µg/l	Se determinará cuando se utilice el cloro o sus derivados en el tratamiento de potabilización. Si se utiliza el dióxido de cloro, se determinarán cloritos a la salida de la ETAP o depósito de cabecera. En los casos de que los niveles estén por encima del valor paramétrico, se determinarán: 2,4,6-triclorofenol u otros subproductos de la desinfección a la salida de a ETAP o depósito de cabecera.
27. Tricloroeteno + Tetracloroeteno	10 µg/l	

## B.2. PARÁMETROS QUÍMICOS QUE SE CONTROLAN SEGÚN LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Parámetro	Valor Paramétrico	Notas
28. Acrilamida	0.10 µg/l	Estos valores paramétricos corresponden a la concentración monomérica residual en el agua, calculada con arreglo a las características de la migración máxima del polímero correspondiente en contacto con el agua. La empresa que comercialice estos productos presentará a los gestores del abastecimiento y a los instaladores de las instalaciones interiores la documentación que acredite la migración máxima del producto comercial en contacto con el agua de consumo utilizado según las especificaciones de uso del fabricante.
29. Epiclorhidrina	0.10 µg/l	Estos valores paramétricos corresponden a la concentración monomérica residual en el agua, calculada con arreglo a las características de la migración máxima del polímero correspondiente en contacto con el agua. La empresa que comercialice estos productos presentará a los gestores del abastecimiento y a los instaladores de las instalaciones interiores la documentación que acredite la migración máxima del producto comercial en contacto con el agua de consumo utilizado según las especificaciones de uso del fabricante.
30. Cloruro de vinilo	0.50 µg/l	Estos valores paramétricos corresponden a la concentración monomérica residual en el agua, calculada con arreglo a las características de la migración máxima del polímero correspondiente en contacto con el agua. La empresa que comercialice estos productos presentará a los gestores del abastecimiento y a los instaladores de las instalaciones interiores la documentación que acredite la migración máxima del producto comercial en contacto con el agua de consumo utilizado según las especificaciones de uso del fabricante.

<b>C. PARÁMETROS INDICADORES</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor Paramétrico</b>	<b>Notas</b>
31. Bacterias coliformes	0 UFC en 100 ml	
32. Recuento colonias a 22°C: A la salida de ETAP En red de distribución	100 UFC en 1 ml Sin cambios anómalos	
33. Aluminio	200 µg/l	
34. Amonio	0.50 mg/l	
35. Carbono orgánico total	Sin cambios anómalos. mg/l	En abastecimientos mayores de 10.000 m <sup>3</sup> de agua distribuida por día se determinará carbono orgánico total, en el resto de los casos, oxidabilidad.
36. Cloro combinado residual	2.0 mg/l	Los valores paramétricos se refieren a niveles en red de distribución. La determinación de estos parámetros se podrá realizar también in situ. En el caso de la industria alimentaria, este parámetro no se contemplará en el agua de proceso. Se determinará cuando se utilice el cloro o sus derivados en el tratamiento de potabilización. Si se utiliza el dióxido de cloro se determinarán cloritos a la salida de la ETAP. Si se utiliza el dióxido de cloro se determinarán cloritos a la salida de la ETAP.
37. Cloro libre residual	1.0 mg/l	Los valores paramétricos se refieren a niveles en red de distribución. La determinación de estos parámetros se podrá realizar también in situ. En el caso de la industria alimentaria, este parámetro no se contemplará en el agua de proceso. Se determinará cuando se utilice el cloro o sus derivados en el tratamiento de potabilización.
38. Cloruro	250 mg/l	
39. Color	15 mg/l Pt/Co	

**C. PARÁMETROS INDICADORES**

Parámetro	Valor Paramétrico	Notas
40. Conductividad	2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C	El agua en ningún momento podrá ser ni agresiva ni incrustante. El resultado de calcular el índice de Langelier debería estar comprendido entre +/- 0,5.
41. Hierro	200 $\mu\text{g}/\text{l}$	
42. Manganeso	50 $\mu\text{g}/\text{l}$	
43. Olor	3 a 25°C Índice de dilución	
44. Oxidabilidad	50 $\text{mg}/\text{l O}_2/\text{l}$	En abastecimientos mayores de 10.000 m <sup>3</sup> de agua distribuida por día se determinará carbono orgánico total, en el resto de los casos. oxidabilidad.
45. pH: Valor paramétrico mínimo Valor paramétrico máximo	6.5 Unidades de pH 9.5 Unidades de pH	El agua en ningún momento podrá ser ni agresiva ni incrustante. El resultado de calcular el índice de Langelier debería estar comprendido entre +/- 0,5. Para la industria alimentaria, el valor mínimo podrá reducirse a 4,5 unidades de pH.
46. Sabor	3 a 25°C Índice de dilución	
47. Sodio	200 $\text{mg}/\text{l}$	
48. Sulfato	250 $\text{mg}/\text{l}$	
49. Turbidez: A salida de ETAP y/o depósito En red de distribución	1 UNF 5 UNF	

<b>D. RADIOACTIVIDAD</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor Paramétrico</b>	<b>Notas</b>
50. Dosis indicativa total	0.10 mSv/año	Excluidos el tritio, el potasio <sup>40</sup> , el radón y los productos de desintegración del radón.
51. Tritio	100 Bq/l	
52. Actividad $\alpha$ total	0.1 Bq/l	
53. Actividad $\beta$ total	1 Bq/l	Excluidos el potasio <sup>40</sup> y el tritio.



# Anexo 2.

## NÚMERO MÍNIMO DE MUESTRAS PARA LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO SUMINISTRADAS A TRAVÉS DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN O UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Para el cálculo de la frecuencia en el caso de aguas suministradas a través de una red de distribución, se puede utilizar el número de personas abastecidas, considerando una dotación media de 200 litros por habitante y día.

### A. AUTOCONTROL

#### 1. ANÁLISIS DE CONTROL:

a) A la salida de cada ETAP<sup>NOTA 1</sup> o depósito de cabecera:

Volumen de agua tratada por día en m <sup>3</sup>	Número mínimo de muestras al año
< 100	1
> 100 – < 1.000	2
> 1.000	2 por cada 1.000 m <sup>3</sup> /día y fracción del volumen total

**NOTA 1:** cuando no exista una ETAP, la frecuencia mínima señalada para el análisis de control en ETAP se sumará a la frecuencia establecida en los párrafos b) y c) según lo disponga la autoridad sanitaria.



b) A la salida de los depósitos de regulación y/o de distribución<sup>NOTA 2</sup> (incluido el de la industria alimentaria):

Capacidad del depósito en m <sup>3</sup>	Número mínimo de muestras al año
< 100	A criterio de la autoridad sanitaria
> 100 – < 1.000	1
> 1.000 – < 10.000	6
> 10.000 – < 100.000	12
> 100.000	24

**NOTA 2:** cuando exista una ETAP, la frecuencia mínima en depósitos se podrá reducir según disponga la autoridad sanitaria.

c) En la red de distribución e industria alimentaria:

Volumen de agua distribuido por día en m <sup>3</sup>	Número mínimo de muestras al año
< 100	1
> 100 – < 1.000	2
> 1.000	1+1 por cada 1.000 m <sup>3</sup> /día y fracción del volumen total

## 2. ANÁLISIS COMPLETO:

a) A la salida de cada ETAP<sup>NOTA 1</sup> o depósito de cabecera:

Volumen de agua tratada por día en m <sup>3</sup>	Número mínimo de muestras al año
< 100	A criterio de la autoridad sanitaria
> 100 – < 1.000	1
> 1.000 – < 10.000	1 por cada 5.000 m <sup>3</sup> /día y fracción del volumen total
> 10.000 – < 100.000	2 + 1 por cada 20.000 m <sup>3</sup> /día y fracción del volumen total
> 100.000	5 + 1 por cada 50.000 m <sup>3</sup> /día y fracción del volumen total

b) A la salida de los depósitos de regulación y/o de distribución<sup>NOTA 2</sup> (incluido el de la industria alimentaria):

Capacidad del depósito en m <sup>3</sup>	Número mínimo de muestras al año
< 100	A criterio de la autoridad sanitaria
> 1.000 – < 10.000	1
> 10.000 – < 100.000	2
> 100.000	6

c) En la red de distribución e industria alimentaria:

Volumen de agua tratada por día en m <sup>3</sup>	Número mínimo de muestras al año
< 100	A criterio de la autoridad sanitaria
> 100 – < 1.000	1
> 1.000 – < 10.000	1 por cada 5.000 m <sup>3</sup> /día y fracción del volumen total
> 10.000 – < 100.000	2 + 1 por cada 20.000 m <sup>3</sup> /día y fracción del volumen total
> 100.000	5 + 1 por cada 50.000 m <sup>3</sup> /día y fracción del volumen total

## B. CONTROL EN GRIFO DEL CONSUMIDOR

Número de habitantes suministrados	Número mínimo de muestras al año
< 500	4
> 500 – < 5.000	6
> 5.000	6+2 por cada 5.000 habitantes y fracción



# Glosario



# Glosario

**Biocida.** Sustancia activa (o mezcla de varias sustancias) con capacidad para matar a los organismos nocivos.

**Carbón activo.** Partículas de carbón que se obtienen generalmente por carbonización de material celulósico, en ausencia de aire. Debido a su gran capacidad de adsorción, retiene materia orgánica, algas, detergentes, pesticidas, y en general todos los compuestos que causan problemas de olores y sabores en las aguas destinadas al abastecimiento de poblaciones. Otra de las funciones del carbón activo es la eliminación de concentraciones residuales de agentes oxidantes como cloro y ozono, y de los subproductos como los trihalometanos, originados en estos tratamientos.

**Coliformes.** Grupo de bacterias utilizadas como indicadores de la posible presencia en el agua de organismos que ocasionan enfermedades.

**Giardia.** *Giardia Lambia* es un protozoo flagelado patógeno, que parasita el intestino humano produciendo inflamación y trastorno en la absorción de vitaminas y grasas. Los quistes son bastante resistentes a la desinfección con cloro y sobreviven en el ambiente durante varios meses.

**Dispositivo Venturi.** La corriente de un fluido en un conducto cerrado, cuando pasa por una zona de sección menor, aumenta de velocidad, y consecuentemente la presión disminuye, provocando un efecto de aspiración. Si en la zona estrecha del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una succión del fluido contenido en este segundo conducto.

**Membrana semipermeable.** Es una membrana porosa, que permite que ciertas moléculas o iones pasen a través de ella por difusión, mientras que para otras moléculas mayores, la membrana es impermeable, ya que el tamaño del poro es demasiado pequeño para permitirles el paso.

**Patógenos.** Todo aquel organismo que sea capaz de producir enfermedad o daño en la salud de otro organismo.

**Potencial Redox.** El potencial redox es un indicador de la transferencia de electrones, e indica la capacidad de oxidar que tiene una sustancia. Cuanto mayor es el potencial redox, mayor es el poder de oxidación.

**Régimen de flujo.** Un fluido puede moverse de diferentes formas, dependiendo de su viscosidad y de la inercia.

**Régimen laminar.** Las partículas del fluido se mueven lentamente en la dirección del flujo, sin turbulencias, comportándose como capas infinitesimalmente delgadas dispuestas de forma paralela, que se deslizan sobre las capas adyacentes. Las fuerzas de viscosidad son mayores que las fuerzas de inercia.

**Régimen turbulento.** Las partículas del fluido se mueven en recorridos irregulares, en todas direcciones. La fuerza de inercia supera la viscosidad.

**Régimen de transición.** Estado intermedio entre el régimen laminar y turbulento.

**Resalto hidráulico.** En el cambio de un régimen rápido de un fluido a uno lento (que se produce por ejemplo al caer el agua desde una altura y chocar con el suelo) se generan grandes turbulencias y se incrementa la velocidad de flujo, lo que produce una gran disipación de energía. Las turbulencias dan lugar a la absorción de aire de la atmósfera, dando como resultado la mezcla de agua y aire. Son frecuentemente utilizados para producir mezcla rápida, y para medir caudales en canales abiertos.

**Sólidos en suspensión.** Partículas que se mantienen disueltas en el agua debido a su naturaleza coloidal. No sedimentan por gravedad por lo que es necesario la adición de un agente floculante para poder extraer estas partículas del agua.

**Turbidez.** Es una propiedad óptica que mide la pérdida de transparencia en el agua, que puede ser ocasionada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos (arcillas, limos, algas, etc.).

**Vertedero hidráulico.** El vertedero es una estructura hidráulica destinada a permitir el paso, libre o controlado, del agua en los escurrimientos superficiales.



# Bibliografía





# Bibliografía

- AQUAGEST. Agua de consumo humano. Agua de confianza. Aquagest Promoción Técnica y Financiera de Abastecimientos de Agua, SA. 2009.
- CÁNEPA DE VARGAS, L.; MALDONADO, V.; BARRENECHEA, A.; AURAZO, M. Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Ed. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Lima. 2004.
- GRAY N.F. Calidad del agua potable. Problemas y soluciones. Ed. Acibia, S.A. 1996.
- HENRY, J. G., Heinke, G. W. Ingeniería ambiental. Ed. Pearson Educación. 1999.
- JORET, J.C. et al. Method rapide d'évaluation du carbone éliminable des eaux par voie biologique. Trib.Cebedeau. 510:39:3. 1986.
- MARÍN GALVÍN, R. Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ed. Díaz de Santos. 2005.
- MILOT, J. Estimation de la présence de trihalométhanes dans l'eau potable par différentes approches de modélisation. Thesis. Université Laval. Québec, Canada. 1999.
- OLMEDO SÁNCHEZ, M.T. Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud. Higiene y Sanidad Ambiental, 8:335-342. 2008.
- RED CYTED VIII-G. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Ed. Miguel A. Blesa. 2001.
- RODRÍGUEZ VIDAL, F.J. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización.
- RODRÍGUEZ, M. J.; RODRÍGUEZ, G.; SERODES, J.; SADIQ, R. Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. Revista interciencia. VOL.32 N°11. 2007.
- SERVAIS, P. et al. Determination of biodegradable fraction of dissolved organic matter in waters. Water resource. 21:4:445. 1987.
- SOLSONA, F.; MÉNDEZ, J.P. Desinfección del agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. 2002.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). Guidance manual. Alternative disinfectantes and oxidants, office of water, EPA. 1999.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, Pan American Health Organization. Guías para la calidad del agua potable. American Health Org, 1985.

