

8. MEDIDAS PREVENTIVAS Y PALIATIVAS PARA EL CONTROL DE MICROORGANISMOS

8.1. *Depuración de aguas residuales*

8.2. *Criterios para la construcción y ubicación de captaciones*

8.3. *Perímetros de protección*

8.4. *Técnicas de depuración de aguas destinadas al consumo*

8.- MEDIDAS PREVENTIVAS Y PALIATIVAS PARA EL CONTROL DE LOS MICROORGANISMOS

8.1.- DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

La mejor forma de asegurar una buena calidad para las aguas de consumo consiste en prevenir su contaminación. Es por tanto esencial realizar una depuración previa al vertido de las aguas residuales, reduciéndose de esta forma el riesgo de transmisión de patógenos

A) MÉTODOS SIMPLIFICADOS

Son adecuados para reducidos niveles de vertido. Presentan como principal ventaja su reducido coste de mantenimiento y facilidad de operación, además proporcionan un buen nivel de eliminación de organismos patógenos

A-1) Lagunaje:

Se trata de un grupo de estanques a través de los cuales se hace circular el agua residual; en los estanques la acción bacteriana degrada gran parte de la materia orgánica, descomponiéndola. Se trata de un sistema de bajo coste de operación y mantenimiento, pero requiere de una cierta superficie de terreno para construir las lagunas.

Generalmente el agua atraviesa primero una o varias lagunas anaerobias (2 a 4 metros

de profundidad y entre 0,1 y 0,4 kg DBO/m³/día) o aerobias facultativas (1 a 2 metros de profundidad) que eliminan la mayor parte de DBO y materia orgánica, pasando posteriormente a las lagunas aerobias (0,3 a 1 metro de profundidad) que eliminan los organismos patógenos que quedan y reducen la DBO al mínimo.

A-2) Filtro verde:

Consiste en regar un cultivo (generalmente de carácter forestal y en concreto choperas) con aguas residuales urbanas, sometidas previamente a un proceso de eliminación de los elementos más gruesos, desarenado y desengrasado. La descontaminación se produce por efecto de la acción física y química del suelo (filtrado mecánico, adsorción, reacciones redox, etc) así como por la acción biológica de las bacterias, hongos y otros microorganismos

Es aplicable a poblaciones no muy grandes (máximo 25.000 habitantes) cuyos vertidos no contengan sustancias tóxicas para los cultivos y si se dispone de suficiente terreno (alrededor de 1 Ha por cada 200 habitantes) susceptible de ser transformado en regadío.

Los procesos de depuración son llevados a cabo por los microorganismos del horizonte superior del suelo (hasta una profundidad aproximada de 1,20 m). La eliminación de bacterias fecales es similar a la conseguida mediante un proceso secundario convencional.

Los filtros verdes tienen un alto riesgo de afección a las aguas subterráneas al realizar vertidos de aguas residuales directamente sobre el terreno.

A-3) Lechos de turba:

Consiste en hacer pasar el agua (previa eliminación de elementos gruesos, arenas y grasas) por una capa de turba sobre otra de arena y esta a su vez sobre otra de gravas. La turba gracias a sus propiedades adsorbentes y de formación de complejos, así como al intenso desarrollo de microorganismos, consigue una importante depuración del agua, obteniéndose unos elevados rendimientos medios.

A-4) Discos rotativos (biodiscos):

Tras someter al agua a un proceso de filtrado y decantación se hace pasar a través de un tanque en el cual giran a lo largo de unos ejes varios discos parcialmente sumergidos (aproximadamente un 40 %). Sobre la superficie de los discos se produce un intenso desarrollo de microorganismos (bacterias, algas, protozoos) que al ser sucesivamente expuestos al aire y al agua recogen oxígeno y materias nutrientes, produciéndose además una intensa aireación de la masa acuosa. La biomasa formada de esta manera termina desprendiéndose de los discos y cayendo al agua, siendo posteriormente separada en un clarificador secundario dispuesto a la salida del sistema

El rendimiento del proceso se calcula entorno al 80 - 90% proporcionando en general una eficaz eliminación de microorganismos patógenos

B) SISTEMAS CLÁSICOS DE DEPURACIÓN

Los sistemas tradicionales de depuración de aguas (tratamiento primario + secundario +

terciario, que se corresponden con tratamiento físico, biológico y químico) consiguen una reducción muy eficaz de la carga contaminante de grandes volúmenes de agua. Requieren unas instalaciones complejas, atendidas por personal cualificado y un importante consumo de energía

B-1) Tratamiento primario:

Consiste en eliminar las partículas en suspensión contenidas en el agua residual y dejarla en condiciones adecuadas para el desarrollo de microorganismos en etapas posteriores. Los procesos implicados son:

- Sedimentación: eliminación de sólidos en suspensión por acción de la gravedad
- Flotación con aire: se introducen burbujas de aire, que forman una espuma donde se adhieren los aceites, grasas y sólidos de tamaño muy fino que después son eliminadas mediante un sistema mecánico
- Floculación: adición de floculantes, sustancias que facilitan la agregación y sedimentación de las partículas coloidales
- Neutralización: corrección del pH si no es adecuado para las fases siguientes del tratamiento o para su vertido

B-2) Tratamiento secundario

Consiste en la eliminación de la materia orgánica por oxidación biológica. El proceso consiste en mantener una importante población microbiana en condiciones aerobias de forma que empleen como sustrato de crecimiento las materias presentes en el agua residual.

- Lodos activados:

En este sistema el agua a depurar se introduce en un depósito convenientemente agitado y aireado en el que el cultivo bacteriano se encuentra en forma de flóculos. Tras un tiempo suficiente las bacterias han degradado la materia orgánica; se somete entonces la mezcla a un proceso de decantación para separar los flóculos (que forman un fango que será posteriormente tratado) y el agua depurada.

- Lechos bacterianos:

En este sistema el cultivo bacteriano se dispone en la superficie de un soporte, en lugar de encontrarse como flóculos en toda la masa de agua a depurar como en los lodos activados. El agua a tratar se hace caer en forma de lluvia sobre el soporte (natural o sintético, tiene que tener la mayor superficie posible) sobre el cual se ha desarrollado una película de microorganismos que incrementan su biomasa a partir de los nutrientes que lleva el agua y del oxígeno del aire. Al igual que en el caso anterior se producen unos fangos que serán tratados posteriormente.

- Tratamiento de los lodos:

En las distintas fases del tratamiento se producen lodos de características diferentes. En los decantadores primarios se trata de las partículas más gruesas transportadas por el agua bruta, y los secundarios contienen partículas más finas y biomasa de los microorganismos que realizan la depuración del agua. Muchas veces se mezclan unos y otros formando lodos mixtos. Además los lodos pueden contener aditivos añadidos al agua en cualquiera de las etapas.

Los tratamientos que se dan a los lodos son:

- **Concentración**, consistente en eliminar la mayor cantidad de agua posible del lodo mediante espesamiento, flotación o centrifugado.

- **Digestión** (aerobia o anaerobia), que destruye la materia orgánica por la acción de microorganismos. La forma más empleada es la digestión anaerobia pues consume menos energía y tiene mejor rendimiento.

- **Incineración**, tras reducir al mínimo la fracción de agua a fin de gastar la menor cantidad de energía posible.

- **Acondicionamiento**. Se suele añadir a los lodos sustancias flocculantes a fin de romper su estructura coloidal y mejorar sus características de filtrabilidad. Las sustancias más empleadas son Cl_3Fe y CaO . También se emplean el sulfato de alúmina y el polielectrolito.

- **Deshidratación**. Los métodos más empleados son: eras de secado, filtros de vacío, filtros prensa y centrifugación.

B-3) Tratamiento terciario:

Son procedimientos que se emplean cuando se precisa una calidad muy alta en el agua de salida, o la recuperación de sustancias valiosas o muy tóxicas. Los procedimientos más empleados son:

- Adsorción:

Se emplea para eliminar del agua fenoles, hidrocarburos aromáticos, derivados clorados, etc. También colores, sabores u

olores extraños. Como adsorbentes se emplean el gel de sílice, alúmina, resinas orgánicas y carbón activo, siendo este último el más utilizado por sus excelentes propiedades adsorbentes, precio y facilidad de regeneración.

La eficacia de diferentes tratamientos se resume en la tabla 8.1

Tabla 8.1.- Eficacia de los distintos métodos de tratamiento de aguas negras.

MÉTODO	PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	PORCENTAJE DE ELIMINACIÓN DE BACTERIAS
Sedimentación completa	40 - 95	40 - 75
Fosa séptica	40 - 75	40 - 75
Filtro de arena intermitente	40 - 98	98 - 99
Lodos activados	70 - 97	95 - 99

Fuente: Gainez et al. (1988)

- Cambio iónico:

Se emplean casi exclusivamente resinas orgánicas sintéticas, eliminándose por este sistema compuestos radiactivos, mercurio, cromatos, cianuros, oro, etc.

- Ultrafiltración:

Se emplea para separar macromoléculas superiores a un determinado tamaño en función del polímero sintético que forme la membrana. Se emplea en algunos vertidos industriales como: recuperación de suero, tratamiento de aceites usados, aguas de lavado de cabinas de pintura, etc.

- Ósmosis inversa:

Se aplica para la recuperación de metales, depuración de agua de mar, etc.

C) FOSAS SÉPTICAS

Se trata de pequeñas instalaciones empleadas normalmente en viviendas aisladas donde no es posible construir un sistema convencional de alcantarillado.

Las aguas residuales son vertidas en un tanque cerrado e impermeabilizado donde se produce la digestión y almacenamiento del fango. En sistemas más elaborados, se conectan dos o mas tanques en serie, de forma que se consigue una mayor capacidad de almacenamiento. La limpieza se realiza cada dos o tres años.

8.2.- CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE CAPTACIONES

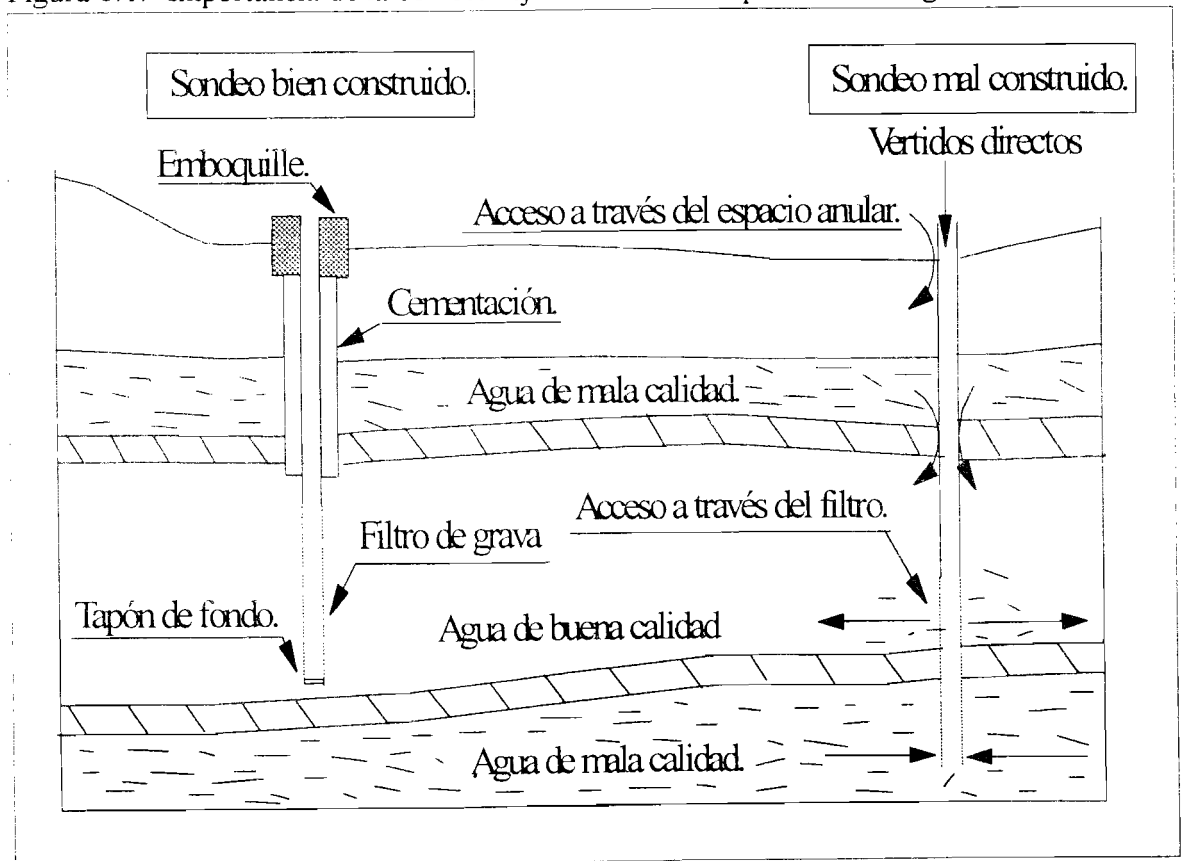
A) UBICACIÓN DE CAPTACIONES

Se exponen a continuación una serie de recomendaciones encaminadas a evitar que las captaciones de aguas (pozos y sondeos) puedan provocar la contaminación de las aguas subterráneas al poner en contacto los niveles acuíferos con los focos potenciales de contaminación.

Las normas básicas que hay que tener en cuenta para minimizar el riesgo de contaminación de las futuras captaciones son:

- Situar la captación lejos de los focos potencialmente contaminantes.
- Las vías principales de circulación del agua (es decir, los grandes manantiales y las zonas más permeables del acuífero, donde los pozos dan mayores caudales) son las más expuestas a la contaminación microbiológica.
- La captación deberá ubicarse donde la zona no saturada sea más impermeable y más potente. Lo ideal son acuíferos

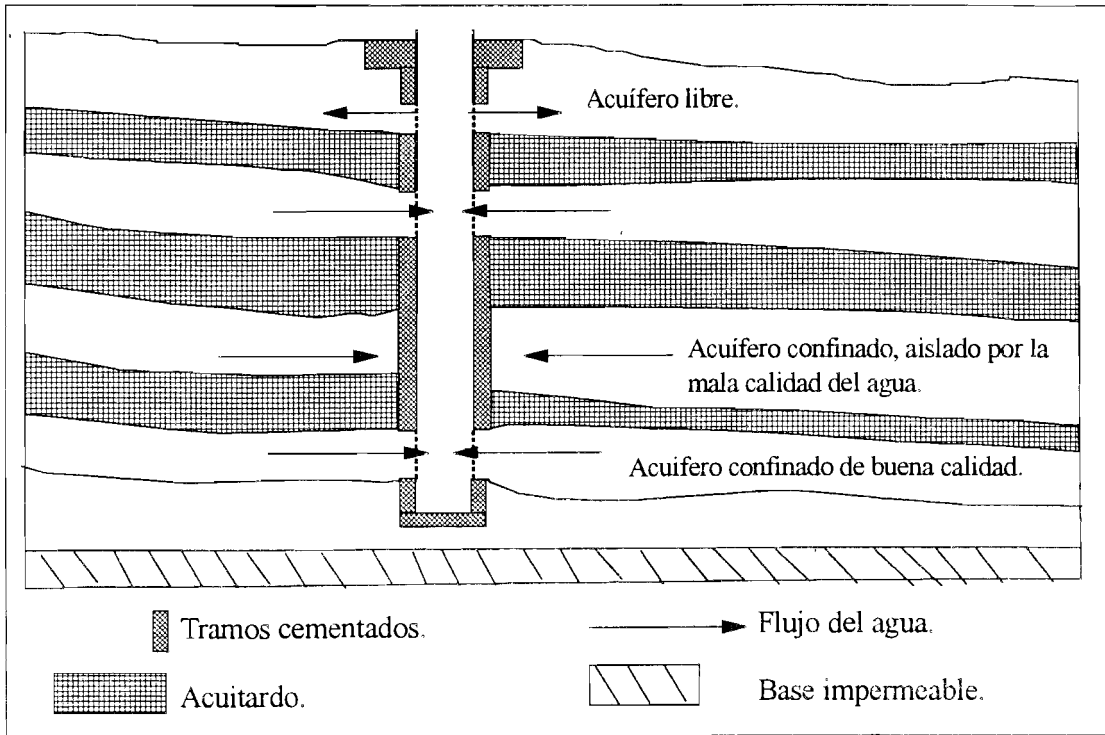
Figura 8.1.- Importancia de la correcta ejecución de las captaciones de aguas subterráneas.



confinados, y en acuíferos multicapa los niveles más profundos. En el extremo opuesto están los acuíferos kársticos y los aluviales.

La norma más importante a tener en cuenta es que el propio pozo es la vía más directa por la que puede entrar una contaminación a las aguas subterráneas. Se deben poner

Figura 8.2.- Esquema del mecanismo de protección de un sondeo correctamente construido.



B) NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE CAPTACIONES

La captación de aguas subterráneas para consumo se encuentra dentro del sistema de abastecimiento, formando parte de sus instalaciones, por lo que deberá cumplir con la Reglamentación Técnico Sanitaria para el abastecimiento y control de las aguas potables de consumo público (RD 1138/1990). No obstante, lo que se dice a continuación es aplicable también a captaciones destinadas a la agricultura, industria u otros fines.

todas las barreras necesarias para que esto no ocurra.

Un pozo adecuado para abastecimiento puede estar constituido por:

- Un recinto vallado de tamaño suficiente para no entorpecer las maniobras de cambio de la bomba, cuyo acceso estará limitado al personal de mantenimiento. Dentro de este recinto se limpiarán minuciosamente los posibles restos de suciedad, plantas y materia orgánica.

Una caseta cerrada, dentro de la cual se sitúa el pozo o sondeo. El suelo estará

impermeabilizado y un desagüe recogerá las posibles escorrentías y las sacará fuera del recinto. El techo será practicable para facilitar el cambio del equipo de extracción

- El pozo tendrá el emboquille sobresaliendo del terreno y con tubería ciega en los niveles acuíferos más superficiales. El espacio anular entre la tubería ciega y el terreno estará impermeabilizado con cemento u otro sellador en toda su longitud. En las normas de la American Water Works Association para pozos profundos se describen distintas técnicas para realizar esta operación.

- La captación ha de estar cubierta para evitar el vertido directo, la lluvia, los rayos solares y las deyecciones de aves.

- El equipo de extracción ha de ser eléctrico, y no dejar ningún lugar por donde accidentalmente puedan caer grasas u otras sustancias al pozo.

- El pozo será desinfectado con cloro previamente a su uso. Es una operación sencilla y económica que permite obtener agua de buena calidad desde el comienzo, dado que inicialmente hay microorganismos del exterior introducidos durante las operaciones de perforación

Por último es conveniente recordar que todos los sondeos para abastecimiento o embotellado de agua deben contar con su preceptivo perímetro de protección, debiendo la autoridad competente velar por el cumplimiento de las restricciones impuestas sobre el uso del suelo en la definición del perímetro.

8.3.- PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

La actual legislación española (ley de aguas de 2 de agosto de 1.985, Reglamento del dominio público hidráulico de 11 de abril de 1.986, Reglamentación Técnico Sanitaria para el abastecimiento y control de las aguas potables de consumo público de 14 de septiembre de 1.990, Ley de minas de 11 de julio de 1.973) establece la figura del perímetro de protección como garante de la calidad química y bacteriológica de las aguas subterráneas destinadas al consumo humano.

Se entiende por perímetro de protección: *un área entorno a una captación de aguas subterráneas, en la cual de forma graduada, se restringen o prohíben las actividades o instalaciones capaces de introducir una contaminación en el acuífero.*

Así pues el perímetro debe garantizar que la calidad del agua no se verá afectada, y no sobrepasará en ningún caso los límites establecidos por la vigente legislación para las aguas de consumo y para las aguas envasadas.

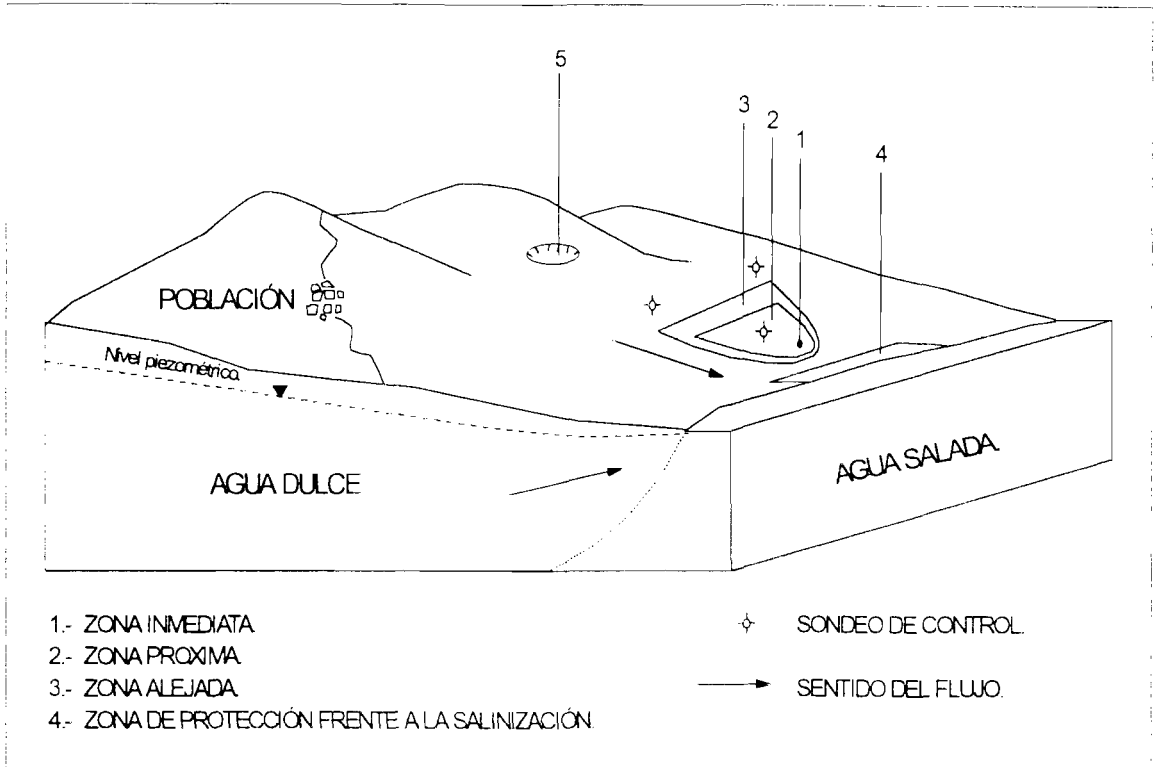
El sistema más frecuentemente empleado consiste en dividir el perímetro en varias zonas alrededor de la captación, graduadas de mayor a menor importancia en cuanto a las restricciones de actividad impuestas sobre ellas:

1- Zona inmediata, o de restricciones absolutas. Es la más próxima a la captación, protegiendo a ésta y sus

instalaciones contra las inclemencias climatológicas y desaprensivos, además impide los vertidos e infiltraciones directas sobre la misma. El criterio de dimensionado suele ser un tiempo de tránsito de 24 horas o una pequeña área (100 - 400 m²) fijada de forma arbitraria. Las restricciones serán

la sustancia extraña llegue a la captación. Se dimensiona generalmente en función de un tiempo de tránsito de 50 - 60 días, consiguiéndose una buena protección contra la contaminación bacteriológica y lo más eficaz posible contra la química.

Figura 8.3.- Zonificación de los perímetros de protección.



absolutas, impidiéndose cualquier tipo de actividad.

2- Zona próxima o de restricciones máximas: representa el cuerpo principal del perímetro, comprende un área de extensión variable, pero suficiente para proteger el agua contra su contaminación, ya sea asegurando la inactivación, eliminación o dilución del contaminante, ya sea permitiendo una alerta a tiempo para tomar las medidas adecuadas antes de que

3- Zona alejada o de restricciones moderadas. Debe proteger la captación contra contaminantes de larga persistencia, básicamente contaminación química no degradable o difícilmente degradable. El funcionamiento de este área se basa en los procesos de dilución o de alarma además de la degradación e inactivación. Se dimensiona según un tiempo de tránsito de 10 años, o más frecuentemente en base a consideraciones hidrogeológicas, abarcando muchas veces todo el área de

alimentación de la captación. Al ocupar esta tercera zona una superficie muy extensa se restringen únicamente aquellas actividades que por su peligrosidad o características especiales provocarían un proceso contaminante imposible de controlar aún cuando se produjera en un lugar alejado de la captación que se desea proteger.

4- Zonas satélites de protección. En ciertas circunstancias pueden definirse áreas de restricción que delimitan superficies alejadas de la captación y situadas fuera del sistema de protección del perímetro anteriormente descrito, pero que presentan una conexión hidráulica directa o preferente a través de conductos o fisuras con el punto de captación del agua. Estas "zonas satélites de protección" cobran una especial relevancia en acuíferos kársticos y fisurados, donde sus especiales características estructurales facilitan la aparición de estos fenómenos. Las restricciones serán las mismas que para la zona próxima. Para su localización es imprescindible un estudio hidrogeológico en detalle del acuífero.

5- Área de protección frente a la salinización. Se definen en regiones costeras, donde la intrusión de agua de mar puede provocar la salinización del agua subterránea. En estas áreas se restringen los bombeos a fin de evitar el avance del frente salino

Con respecto a la contaminación de carácter microbiológico hay que considerar que el perímetro garantiza la calidad del agua asegurando un tiempo de tránsito mínimo para el agua subterránea, tiempo que no sería suficiente por sí solo para eliminar muchos de los microorganismos

comunes en las aguas contaminadas, pero al que deben sumarse otras acciones como son la interacción con los materiales del suelo y del acuífero, acción de bacteriófagos, etc, siendo gracias a la concurrencia de todos estos factores como se elimina la contaminación.

Las bacterias, al ir atravesando el acuífero disminuyen en número, pero además aumenta el tiempo de regeneración, con lo que la proporción relativa de estas decrece aún con más rapidez. Además, factores tales como contenido en nutrientes, contenido en materia orgánica, etc, han de ser considerados.

8.4.- TÉCNICAS DE DEPURACIÓN DE AGUAS DESTINADAS A CONSUMO

A pesar de todas las medidas que se toman para evitar la contaminación de las aguas, muchas veces éstas no presentan una calidad adecuada para el abastecimiento. Por ello la RTS para el abastecimiento y control de la calidad de las aguas potables de consumo público habla en su título IV sobre los tratamientos que deben recibir las aguas para adecuar sus características microbiológicas a lo exigido por la reglamentación. En todo caso las aguas destinadas al consumo público deben ser sometidas, previa a su distribución, al tratamiento de desinfección.

El proceso más frecuentemente empleado es el de decantación/filtración, coagulación/floculación, que elimina una

Tabla 8.3 1.- Dosis de cloro residual en aguas de consumo recomendadas por la O.M.S.

Valor del pH	Cloro residual libre en ppm durante un mínimo de 10 minutos	Cloro residual combinado en ppm durante 60 minutos al menos
6,0 - 7,0	0,2	1,0
7,0 - 8,0	0,2	1,5
8,0 - 9,0	0,4	1,8
9,0 - 10,0	0,8	No lo recomienda
Más de 10	Más de 0,8 (con contacto mas largo)	No lo recomienda

Fuente: Cabo et al. 1972.

buena parte de la turbidez del agua y su micropoblación, para luego someter el agua al proceso de desinfección propiamente dicho y cuando ello es necesario a la corrección del pH, ajuste del cloro residual y fluoración.

La eficacia de la filtración depende básicamente del tamaño de elementos a eliminar y del tipo de filtro empleado. Es más eficaz si se procede a una floculación y decantación previas. Se muestra muy eficaz con organismos grandes tales como lombrices intestinales o sus huevos. Ante bacterias el rendimiento varía entre un 50 % y un 90-99 % según el método. Los virus pasan por los poros de los filtros normalmente empleados. El método solo es aplicable para pequeños volúmenes de agua.

Los agentes desinfectantes normalmente empleados son oxidantes enérgicos que provocan la muerte de las bacterias patógenas que pudieran existir en el agua. La actual reglamentación (Resolución de 23 de abril de 1.984 por la que se aprueba

la lista positiva de aditivos y coadyuvantes tecnológicos autorizados para tratamiento de las aguas potables de consumo público) admite el empleo de los siguientes productos: Cloro, Hipoclorito sódico, cálcico o magnésico, Clorito sódico Amoniaco, Ozono, Permanganato potásico, Sulfato de plata, Cloruro de plata, Complejo sódico de cloruro de Plata electrolytica

La desinfección del agua con cloro u otro desinfectante no esteriliza el agua, es decir no elimina la totalidad de las bacterias. Si posteriormente a la desinfección no queda una cantidad suficiente de cloro residual las bacterias pueden volver a reproducirse en la red de distribución.

La plata y sus derivados poseen una marcada acción bactericida pero debido a su precio solo se emplean en casos especiales, cuando no existe otro sistema de desinfección disponible.

La radiación ultravioleta (no se incluye entre los métodos aprobados por la

legislación) se emplea para pequeños volúmenes de agua clara. La elevada acción microbicida de esta radiación se ve frenada por su bajo poder penetrante en el agua (basta 5 cm para que se pierda el 30 % de la radiación si el agua es clara y solo 1 cm en aguas de río sin filtrar). Sin embargo el rendimiento no se ve afectado por las condiciones físico-químicas del agua. Se emplean dosis de 1.000 a 6.000 $\mu\text{W/S/cm}^2$ de 2.400 nma 2.800 nm. El efecto microbicida es mayor para bacterias que para virus, hongos y formas esporuladas.

La ozonización es un proceso caro que se emplea cuando no se desea la presencia de cloro residual. Normalmente se emplea aire ozonizado al hacerlo pasar por un sistema de arco eléctrico. Presenta como ventajas: no deja olor ni sabor alguno, no existe peligro de sobredosificar y es poco sensible al pH y temperatura. Las dosis necesarias vienen a ser de 1,5 a 2 mg/l para aguas normales, aumentando para altos valores de DQO.

Por último, el desinfectante más empleado en España es sin duda el cloro en sus diferentes formas. El cloro ejerce su acción desinfectante tanto en estado elemental como en forma de ácido hipocloroso no disociado (HOCl). La acción del cloro depende del pH, siendo por ejemplo diez veces mayor a pH 6 que a pH 9. A pH 7 la concentración necesaria para matar la mayor parte de los microorganismos en 15 a 30 segundos (en condiciones óptimas, la presencia de materia orgánica aumenta sensiblemente este tiempo) varía entre 0,1 y 0,25 ppm.

Las grandes ventajas que presenta la cloración son

- Bajo costo.
- Facilidad de aplicación, prestándose muy bien al empleo de sistemas automatizados para el tratamiento de grandes volúmenes de agua.
- Importante acción microbicida, tanto sobre bacterias como sobre virus y amebas.
- Efecto residual controlable.

Por el contrario sus mayores inconvenientes son:

- Confiere un sabor característico al agua que la inutiliza para ciertos usos (por ejemplo ciertas industrias alimentarias).
- El cloro se combina con la materia orgánica produciendo cloraminas a las que se atribuye capacidad cancerígena.
- A las dosis normales de uso no presenta efecto alguno sobre los humanos, pero algunos animales de granja lo toleran mal, debiendo eliminarse o emplear otro sistema de desinfección.
- Cuando el agua tiene una elevada concentración de materia orgánica la acción del cloro es mucho menor, por lo que ha de ser previamente eliminada. Así, para conseguir 0,2 - 0,4 ppm de cloro residual en agua limpia son necesarios 0,5 ppm. Sin embargo en aguas muy sucias se llegan a necesitar 20 ppm.

Según Cabo et al. los factores a considerar para obtener una cloración efectiva son:

- a) Contenido y naturaleza de las sustancias orgánicas y de la materia en suspensión. La materia orgánica, sulfuros, nitritos, hierro,

etc absorben o destruyen el cloro, disminuyendo el disponible para la acción microbicida

b) Temperatura Cuanto mayor es la temperatura, se requiere un menor tiempo de contacto.

c) pH A mayor pH se requieren mayores concentraciones de cloro

d) Tiempo de contacto. A mayor tiempo de contacto mejor será la desinfección. En todo caso nunca debe ser inferior a 10 - 15 minutos.

e) Compuesto de cloro utilizado. Se pueden emplear muy diversos productos, destacando gas, cloraminas, dióxido de cloro y cal clorada, cada uno de ellos con diferente grado de actividad. Así, por ejemplo el dióxido de cloro posee dos veces y media la capacidad oxidante del Cl_2 , siendo capaz de destruir *E. coli* en 6 segundos y poliovirus en 1 minuto a pH de 7 y concentración de 0,0001 %

Es muy importante que el cloro se reparta homogéneamente en la masa acuosa, siendo muy aconsejable la filtración previa.