



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

CONSECUENCIAS DE LA DESINFECCIÓN CON
CLORO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

OLIVERIO MESSINA BAAS

DIRECTOR DE TESIS:

M. I. ENRIQUE CÉSAR VALDÉZ



MÉXICO, D. F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mis padres Oliverio Messina Robles y Guadalupe Baas González, por todos los años de esfuerzo desinteresado que tuvieron que dedicarme, para que yo pudiera llegar hasta este punto.

Al profesor Enrique César Valdéz, por la valiosa y generosa ayuda que me brindó, al asesorarme en la elaboración de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por la educación científica y humanista que me inculcó. Sin lugar a dudas el haber sido estudiante en sus aulas es el orgullo más grande que tengo.

Índice

	Página
Introducción	1
I. Síntesis histórica sobre el tratamiento del agua	3
II. Características del agua	11
III. Enfermedades transmitidas por el agua contaminada	25
IV. Organismos no patógenos presentes en el agua	41
V. Métodos de desinfección del agua	49
VI. Consecuencias de la desinfección con Cloro	91
VII. Estado del arte de la desinfección del agua en países desarrollados.	101
VIII. Conclusiones	107
IX. Anexos	109

Introducción

Una de las primeras preocupaciones del ser humano, desde los orígenes de la civilización es el agua que bebe. Esta preocupación se ha transformado a través del tiempo, pero siempre ha conservado su esencia, que es la búsqueda por encontrar el agua más saludable y pura.

Las civilizaciones más antiguas se dieron cuenta de la capacidad filtrante de las rocas y el arena, y pensaron que entre más diáfana fuera el agua, sería mejor. También observaron que las vasijas de cobre y plata tenían una extraña capacidad de purificación del agua.

La forma de pensar del hombre a través de los siglos se ha modificado y esto se ha reflejado en las explicaciones de los fenómenos naturales y por consecuencia, en las técnicas que esos pensamientos han engendrado. El descubrimiento del microscopio permitió que se conocieran los microorganismos presentes en el agua, y posteriormente se identificaron algunos como causantes de enfermedades. Con ello la purificación del agua dejó de ser una actividad con características místicas, y comenzó a ser vista como una obligación en la búsqueda de la salud de la población.

A partir del siglo XIX y hasta nuestros días se han sucedido una serie de descubrimientos en la forma de desinfectar el agua. Entre ellos está la cloración, los rayos infrarrojos, la ozonificación, y los procesos físicos llamados operaciones unitarias. Sin embargo, aunque los procesos se han complicado en gran medida, una vez más, las mejoras en la tecnología han permitido descubrir problemas que antes no se conocían.

El proceso más utilizado hasta el tercer cuarto del siglo XX fue la cloración, pero a principios de la década de 1970 se descubrió que el cloro forma varios compuestos al mezclarse con la materia orgánica que contiene el agua, uno de ellos es el cloroformo, compuesto que está relacionado con el cáncer.

En los países desarrollados la forma de tratar el agua se ha modificado y ya no se usa tanto la cloración, pero en los demás países el costo del cambio de tecnologías es prohibitivo. Además, la preocupación principal de los organismos encargados de manejar el agua en los países en vías de desarrollo es combatir las enfermedades infecciosas más urgentes debido a los costos de operación cubiertos con dificultad, dejando de lado la formación en el agua de posibles precursores de cáncer a largo plazo, que además son sumamente difíciles de detectar y vincular con el agua potable.

Objetivo general:

Mostrar las consecuencias para la salud humana que tiene la desinfección por medio del cloro del agua.

Objetivos particulares:**Capítulo I. Síntesis histórica sobre el tratamiento del agua**

Hacer una descripción general de cómo han evolucionado los métodos para tratar el agua a través de la historia.

Capítulo II. Características del agua

Describir los rasgos esenciales del agua para comprender como es su desinfección, y porque es tan importante.

Capítulo III. Enfermedades transmitidas por el agua contaminada

Conocer las enfermedades más comunes que se transmiten por medio del agua.

Capítulo IV. Organismos no patógenos presentes en el agua

Mostrar los organismos que frecuentemente se encuentran en el agua y que aunque en condiciones naturales no causan ningún daño al ser humano, si pueden llegar a ocasionarlo, al combinarse químicamente con los desinfectantes.

Capítulo V. Métodos de desinfección del agua

Conocer los métodos más comunes para desinfectar el agua, sus ventajas y desventajas.

Capítulo VI. Consecuencias de la desinfección con cloro

Dar a conocer el peligro de las sustancias que se generan en el agua al utilizar cloro como desinfectante.

Capítulo VII. Estado del arte de la desinfección del agua en países desarrollados

Describir la forma en que se realiza la desinfección del agua para consumo humano en los países desarrollados.

I. Síntesis histórica sobre el tratamiento del agua

I.1. Textos sánscritos

No obstante que es incierto el origen del tratamiento del agua, los libros médicos escritos en sánscrito, como el Ousruta Sanghita, dan testimonio de que desde hace por lo menos 4,000 años ya existía la preocupación por purificar el agua. Uno de los métodos que utilizaban para sanear el agua era verter el líquido en vasijas de cobre, exponerlo a la luz del sol y filtrarlo a través de carbón vegetal. Otras ocasiones el proceso era el siguiente: el agua se calentaba, se exponía al sol, después se introducía un hierro hirviendo siete veces en una vasija de cobre, se filtraba a través de una mezcla de arena y grava gruesa, y finalmente se vaciaba el contenido en piezas de barro para enfriarla.

I.2. Egipcios

Debemos a los egipcios el aparato conocido más antiguo para obtener agua clarificada. Está representado en una pintura del año 1450 a.C. dentro de la tumba del rey Amenopsis en Tebas en la que se observan dos hombres extrayendo agua o vino, por medio de un sifón, como se muestra en la fig. I.1.

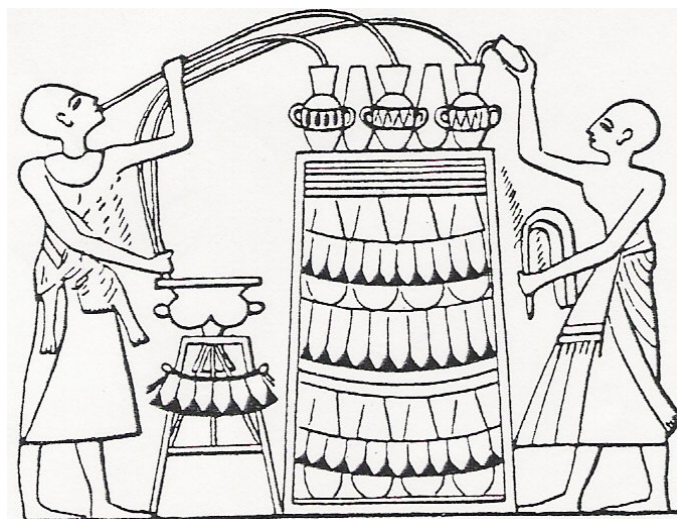


Fig. I.1. Egipcios clarificando el agua por medio de un sifón.

Fuente: American Water Works Association, *The quest for pure water*, tomos I y II. New York 1981.

En el año 168 a.C. Ateneo de Naucratis escribió sobre su travesía en el Nilo. Él describió como los egipcios tomaban agua del río y la purificaban por medio del aire y el sol, después la filtraban y dejaban que se sedimentara dentro de vasijas de barro, mientras eran enfriadas durante la noche por esclavos.

No todos los egipcios gozaron de agua purificada de la forma mencionada; estos procedimientos eran reservados solamente para los poderosos.

I.3. Griegos y romanos

El médico griego Paulus Aegineta (700 a.C.) notó que el agua con olor fétido o con impurezas podía ser purificada por medio del calor o añadiendo cierto tipo de vino. También afirmaba que el agua salada o de pantano podía ser mejorada por filtración.

Hipócrates, que es considerado el padre de la medicina (460-354 a.C.), escribió en su *Aire, Agua y Lugares* el primer tratado de higiene pública. En este escrito afirmaba que cualquiera interesado en investigar sobre medicina, tendría que considerar las estaciones del año, los vientos y el agua en relación con la salud y enfermedad. Él pensaba que el lugar de origen del agua estaba relacionado con la calidad que ésta tenía. Hipócrates recomendaba que se hirviera y filtrará el agua de lluvia para que no tuviera mal olor y porque el no hacerlo provocaba ronquera; el utensilio que menciona para tal efecto era una bolsa, que posteriormente sería llamada Manga de Hipócrates.

Diófanos (siglo I a.C.) dijo que para acondicionar el agua de lluvia se le debía agregar laurel macerado.

Vitrovius (15 a.C.) recomendó construir las cisternas con tres compartimientos, en los que el agua pasara de uno a otro, con el fin de sedimentar los lodos. También escribió que se debía agregar sal en el agua para clarificarla.

Paxamus (siglo I d.C.) propuso machacar coral o cebada en una bolsa y sumergirla en el agua para contrarrestar los malos sabores producidos por los minerales.

Plinio (77 d.C.) dijo que un alimento llamado polenta añadido al salitre o agua, podía convertirla en potable en dos horas, y que el yeso de Rodas y la arcilla de Italia surtían el mismo efecto. También creía que al hervir el agua se hacía más saludable y que la filtración por medio de arcilla era un buen método de purificación. Recomendaba añadir hierro al agua para combatir enfermedades como la disentería.

Sextus Julius Frontinus (97 a.C.) fue autor del tratado más antiguo que se ha conservado hasta nuestros días sobre un sistema de distribución de agua. El escrito se titula *De Aquis Urbis Romae Libri II* y en él se describe detalladamente un tanque de sedimentación, que además era utilizado para almacenar agua al final de uno de los acueductos, y un ingeniosos sistema de filtración con piedrecillas en los acueductos.

I.4. Arabia y Persia

Herodoto cuenta que cuando Ciro el grande Rey de Persia (siglo VI a.C.) iba a la guerra, llevaba agua hervida en frascos de plata, transportados por cuatro carros tirados por mulas.

La ley persa antigua requería que el agua potable se almacenara en vasijas de cobre brillante o plata.

Avicena recomendaba a los viajeros filtrar el agua por medio de sus ropas. También se dio cuenta de que el agua hervida se sedimentaba mejor que el agua no calentada.

I.5. Siglo XVII

La descripción conocida de filtros de arena más antigua fue publicada en 1685 por Lucas Antonius Portius, médico italiano que desarrolló durante la guerra Austro-Turca el primer tratado de sanidad para masas.

Propuso múltiples filtraciones precedidas por sedimentación. Los filtros podían estar en tierra o dentro del casco de un barco, entre mayor era el tamaño o la cantidad de los filtros la calidad del agua aumentaba.

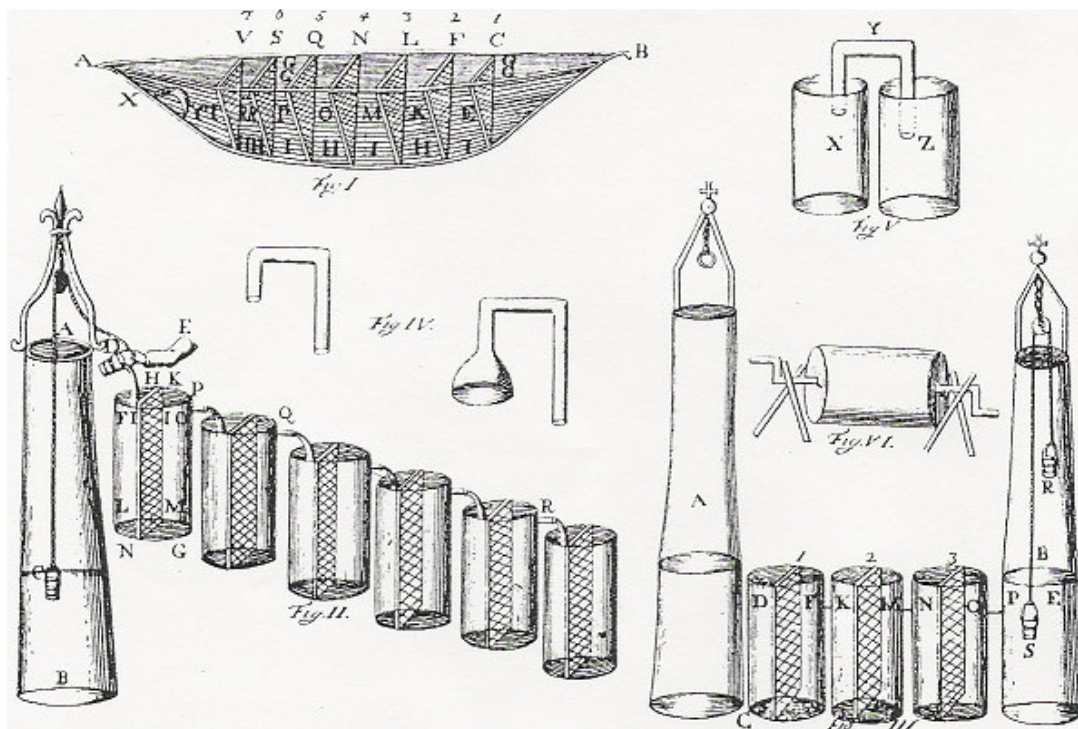


Fig. I.2 Tres tipos de filtro múltiple de Porzio, uno flotante y dos en tierra.

Fuente: American Water Works Association, The quest for pure water, tomos I y II. New York 1981.

El primer diseño industrial para purificar agua está dibujado en un tratado que muestra un molino para papel. En el dibujo del molino de Auvergne, Francia, se puede observar el canal con rejillas que conduce el agua hacia la rueda principal.

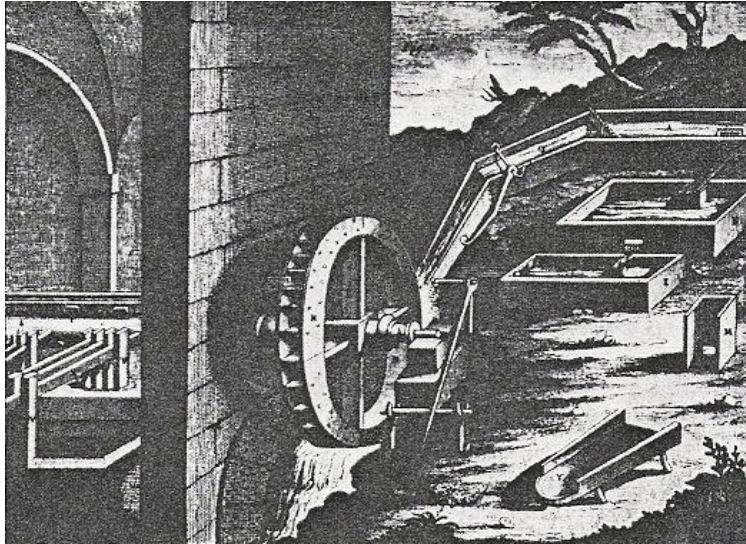


Fig. I.3. Planta de energía hidráulica y clarificador de agua del siglo XVII para un molino de papel en Auvergne, Francia. Fuente: American Water Works Association, The quest for pure water, tomos I y II. New York 1981.

I.6. Siglo XVIII

En México el Dr. Abraham Vater describió el uso piedras para filtrar.

En esa época existían diferentes métodos para purificar el agua como:

- Filtración por medio de arena.
- Añadir aceite de vitriolo –nombre antiguo del ácido sulfúrico–.
- Sahumar el agua con azufre.
- Agregar un poco de sal.
- Filtrado por rocas.
- Sedimentación.
- Coagulación.
- Ablandamiento.

I.7. Siglo diecinueve en adelante

En el que es considerado el primer libro sobre salud pública en Estados Unidos, Dunglinson (1835) dice que el agua que es inusualmente contaminada puede ser hervida, filtrada y agitada para mejorarla; también hace referencia a que existen lugares y poblaciones enteras en el mundo en las que solamente se toma agua hervida, como en China.

Utilizar el calor como método de desinfección era efectivo pero muy costoso, sobre todo porque no se conocían los principios de transferencia de calor en esa época.

La abundancia de cobre en algunos lugares del mundo y la facilidad para trabajarlo en contenedores y utensilios de cocina, así como sus propiedades desinfectantes, provocó

que fuera utilizado desde la antigüedad en el tratado del agua. Kraemer en 1905 a partir de viejos escritos y de sus propios experimentos concluyó que el cobre es germinicida y en pequeñas cantidades no es dañino para la salud humana.

Intentos por encontrar una solución espectacular sin tomar en cuenta el costo, hizo que se probara la plata como desinfectante. La plata se utilizó ampliamente en piscinas pero no así en sistemas de distribución. El botánico suizo Carl von Nageli observó en 1880 la desaparición de algas, particularmente *Spirogyrae*, en agua que contenía cobre, plata o alguna de sus sales. Nageli llamó a la acción de la plata olidinámica o fuerzas de la pequeñez.

La utilización de cloro como desinfectante se extendió rápidamente, desde su primer adopción a gran escala, en la ciudad de Jersey en 1908. El cloro había sido utilizado con anterioridad en muchas partes del mundo, la mayoría de ellas en forma experimental, en aguas residuales en pequeña escala.

El Dr. Robley Dunglison, sugirió en 1835 en su *Human Health*, la utilización de cloro, aunque en esa época aun no se conocía que el agua podía transportar microorganismos.

La cloración con cloruro de cal (chlorine de chaux) fue inventada por Traube en 1894. En 1896 una epidemia de tifoidea en Pola en el mar adriático, fue contenida con este método.

El profesor Drown Dicta creó lo que él llamó purificación electrolítica, que consistía en agregar una solución electrolítica de sal, en la que el proceso de desinfección por hipoclorito de sodio se simplificaba.

La primer planta de cloración permanente comenzó a operar en Bélgica en 1902. La instalación fue inventada por Dr. Maurice Duyk. Cloruro de cal y percloruro de hierro en concentraciones de 0.2 y 8 p.p.m. por medio de goteros fueron agregados al agua contaminada después de haber pasado por filtros de gravedad de 152.4 cm de diámetro.

En 1909 en E.U. cloro líquido fue producido como artículo comercial. Fue estudiado en 1902 por Lieutenant Nesfield del servicio médico del ejército indio. Reportó los resultados de numerosos experimentos, que ocasionaban la destrucción de organismos patógenos por el cloro, y propuso su aplicación militar. Esta fue la primera sugerencia de la aplicación de cloro gaseoso, comprimido en tanques de acero.

En junio de 1912 el Dr. Georg Ornstein de la Electro Bleaching Gas Co. experimentó con cloro líquido y desarrolló el primer equipo que disolvía el cloro gaseoso en un flujo de agua, que posteriormente era agregado al flujo principal. La primer aplicación de cloro líquido a gran escala utilizó el equipo de Ornstein en la planta de tratamiento de agua en las Cataratas del Niágara.

En 1930 se descubrió que la combinación de cloro con amoníaco podía eliminar muchos olores y sabores provocados por la adición de cloro solamente.

El proceso de ozonización comenzó aproximadamente al mismo tiempo que el de cloración. Por unos años, el ozono tomó la delantera, pero después la cloración se desarrolló en mucho mayor escala. Hasta 1941 la mayoría de las plantas de tratamiento del mundo utilizaban cloro, exceptuando las de Francia, en la que existían muchas plantas que manejaban ozono. El ozono era más caro en la instalación y operación, además el cloro era más fácil de manejar, sin embargo el ozono no producía sabores y olores desagradables.

En el momento en el que la cloración comenzaba a posicionarse y la ozonización se contemplaba como rival, se descubrió en Francia que los rayos ultravioleta tienen el efecto de destruir las bacterias en el agua. Este método no tuvo adopciones permanentes, aunque fue ampliamente difundido, para desinfectar albercas en E.U.

Al inicio de la década de 1970-1980, como consecuencia del desarrollo de la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas, técnicas que hacen posible la identificación de compuestos orgánicos presentes en el agua, aún en concentraciones menores a 1µg/l, se descubrió que el cloro puede reaccionar con estos compuestos y formar otros de mayor complejidad, que frecuentemente son peligrosos para la salud. El cloroformo fue uno de los primeros Trihalometanos en ser identificado en aguas potables procedentes del río Rhin.

I.8. Cronología de los inicios de la desinfección química

Tabla I.1. Primeras ciudades en las que se implementó la desinfección química

<u>Año</u>	<u>Localidad</u>	<u>Proceso</u>
1904	Londres	Cloración con hipoclorito sódico.
1908	Chicago	Cloración con hipoclorito cálcico.
1910	New Jersey	Cloración con hipoclorito cálcico.
1912	Cataratas del Niágara	Cloración líquida.

Fuente: American Water Works Association, The quest for pure water, tomos I y II. New York 1981.

I.9. Descubrimiento de los subproductos de la cloración

En 1970 se descubrió que los niveles de compuestos químicos orgánicos disueltos en el agua potable excedían los niveles recomendados.

En 1972 la USEPA reportó 46 diferentes compuestos químicos orgánicos presentes en el agua de tres localidades del Mississippi; y en 1976 encontró 66 en el agua de Nueva Orleans.

En 1974 Rook en Holanda demostró que el cloro utilizado para desinfectar el agua en ocasiones reaccionaba con compuestos orgánicos y su interacción producía Trihalometanos, en especial cloroformo.

I.10. Principales epidemias y enfermedades provocadas por el agua

La esquistosomiasis es una enfermedad muy antigua. Momias de entre 3,000 y 3,250 años de antigüedad tiene rastros del padecimiento. (Walker R. *Water Supply Treatment and Distribution*).

La epidemia de cólera aparecida en Londres en el año 1854 y asociada con el pozo de la calle Broad, es la primera observación registrada de una amplia transmisión de enfermedad por un suministro de agua pública.

Hamburgo, que recibía el agua del río Elba, registró durante dos meses de verano del año 1892, 17,000 casos de cólera, la mitad de ellos terminaron en muerte. La ciudad de Altona también obtenía el agua del Elba pero efectuaba una filtración lenta con arena, antes de mandar el agua al sistema de distribución. Esta epidemia sirvió para esclarecer definitivamente la dependencia de la transmisión del cólera con el agua infectada, además demostró la eficacia de la filtración con arena como método de desinfección.

En el año de 1872 apareció una epidemia de fiebre tifoidea en Lausana Suiza, que se extendió durante más de 25 años y procedía de la contaminación de los suministros de agua pública.

En el año de 1885 aparecieron varias epidemias severas en Plymouth, Pennsylvania. Otras epidemias asociadas a sistemas de abastecimiento de agua se presentaron de 1890 a 1891 en Lawrence y Lowell, Massachussets, en Chicago, Illinois de 1890 a 1899, en Ashlana, Wisconsin de 1893 a 1894, en Mankato, Minnesota en 1908 y en Pittsburg, Pennsylvania de 1895 a 1905.

En Londres después de las epidemias de cólera se utilizaron ampliamente los filtros de arena.

En 1987 13,000 personas se infectaron con el protozoario *cryptosporidium* en Georgia, a pesar de que el agua potable había sido tratada convencionalmente (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.)

El cólera no había causado problemas en México desde hace más de cien años sin embargo, desde 1961 esta enfermedad se ha extendido a nivel mundial. En junio de 1991 se detectó un brote en el Estado de México.

Bibliografía

- American Water Works Association, The quest for pure water, tomos I y II. New York 1981.
- Guía para la prevención y control del cólera en los municipios, IMSS, CNA, SG.

II. Características del agua

II.1. Introducción

Los suministros de agua no están desprovistos de productos químicos, como sucede con el agua destilada desionizada. En la antigüedad se conocía al agua como el disolvente universal, por su capacidad de disolver cualquier material, desde gases hasta rocas. Así conforme la lluvia cae, va recogiendo partículas y mientras se mueve por la tierra arrastra diferentes tipos de materiales, creando un registro químico de su paso desde las nubes. Por ello los suministros de agua tienen distinta calidad dependiendo de su origen. El ciclo del agua es el proceso que controla nuestros recursos hídricos.

II.2. El ciclo del agua

El agua es un compuesto esencial para la vida. Cubre casi cuatro quintas partes de la superficie terrestre, y en el hombre representan aproximadamente el 70 % del peso de su cuerpo.

El volumen total del agua en el mundo permanece constante, lo que cambia es la calidad y disponibilidad. El agua está constantemente reciclándose, en lo que llamamos ciclo hidrológico. El 97.5 % del agua en el mundo es salada, de esta cantidad el 99.9 % se encuentra en los océanos, el resto forma lagos salinos. Solamente el 2.5 % del volumen total es agua no salada, sin embargo, no toda es apta para consumo humano. Alrededor de 75 % del agua dulce está inmovilizada en los casquetes polares y glaciares, además un 24 % está localizada en el subsuelo como agua subterránea, esto significa, que menos del 1 % del total se encuentra en lagos, ríos y el suelo. Por lo tanto, solamente se cuenta con el 0.01 % del agua del mundo en ríos y lagos, con otro 0.01 % presente como humedad en el suelo, sin disponibilidad para consumo humano. Así aunque en apariencia hay mucho agua en el mundo, en realidad sólo podemos disponer de una ínfima cantidad del total.

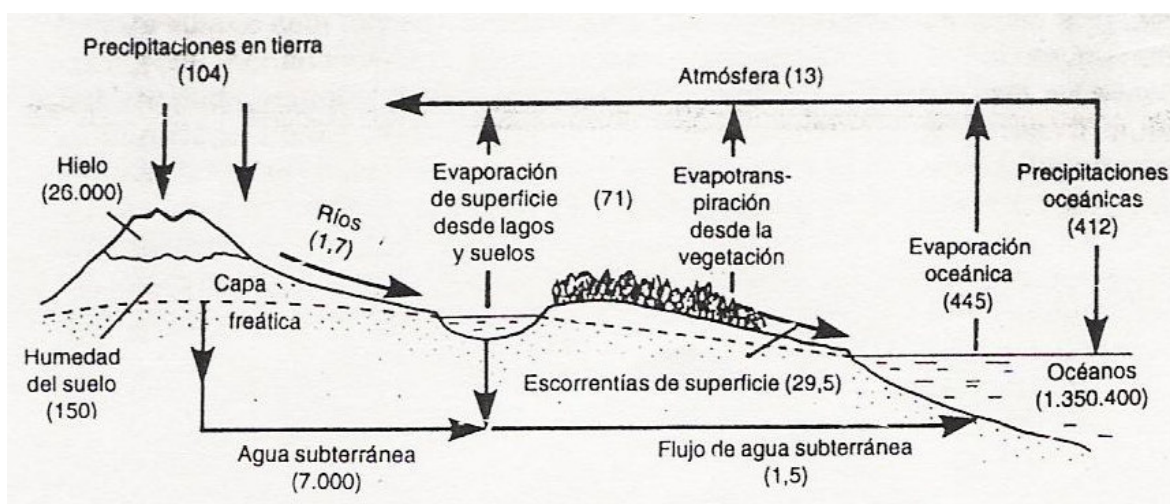


Fig. II.1. Ciclo hidrológico. Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

Tabla II.1. Distribución del volumen de agua dentro del ciclo hidrológico

Tipo de agua	Área (km ² x10 ³)	Volumen (km ³ x10 ³)	Porcentaje total del agua
Vapor atmosférico (Equivalente en agua)	510,000	13	0.0001
Océanos	362,033	1,350,400	97.6
Agua en zonas de tierra	148,067	-	-
Ríos (media de almacenamiento en causes)	-	1.7	0.0001
Lagos de agua dulce	825	125	0.0094
Lagos salinos; mares interiores	700	105	0.0076
Humedad del suelo; agua vadosa	131,000	150	0.0108
Agua biológica	131,000	(despreciable)	-
Agua subterránea	131,000	7,000	0.5060
Casquetes polares e icebergs	17,000	26,000	1.9250
Total en zonas de tierra (redondeado)		33,900	2.4590
Agua total en todos los campos (redondeado)		1,384,000	100
Agua del ciclo			
Evaporación anual			
De los océanos		445	0.0320
De las zonas terrestres		71	0.0050
Total		516	0.0370
Precipitación anual			
Sobre los océanos		412	0.0291
Sobre la tierra		104	0.0075
Total		516	0.0370
Flujo anual de la tierra la mar			
Flujo de ríos		29.5	0.0021
Fusión y disminución de los casquetes polares		2.5	0.0002
Flujo de aguas subterráneas		1.5	0.0001
Total		33.5	0.0024

Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

En el ciclo hidrogeológico, el agua está en constante movimiento, impelida por la energía solar. El sol provoca la evaporación del agua, lo cual forma las nubes y posteriormente las lluvias. El 80 % de las precipitaciones ocurren en el mar, el resto cae sobre la tierra. Es esta agua la que rellena el suelo y las aguas subterráneas, alimenta las corrientes de los ríos y lagos, además de dotar del agua necesaria para las plantas y animales.

Cuanto más llueva, mayor será el caudal de los ríos y más altos los niveles alcanzados por los mantos freáticos en las zonas de almacenamiento de aguas subterráneas, llenados por la infiltración a través del suelo. La disponibilidad del agua depende de las lluvias caídas, así en una sequía el volumen disponible puede disminuir hasta cero.

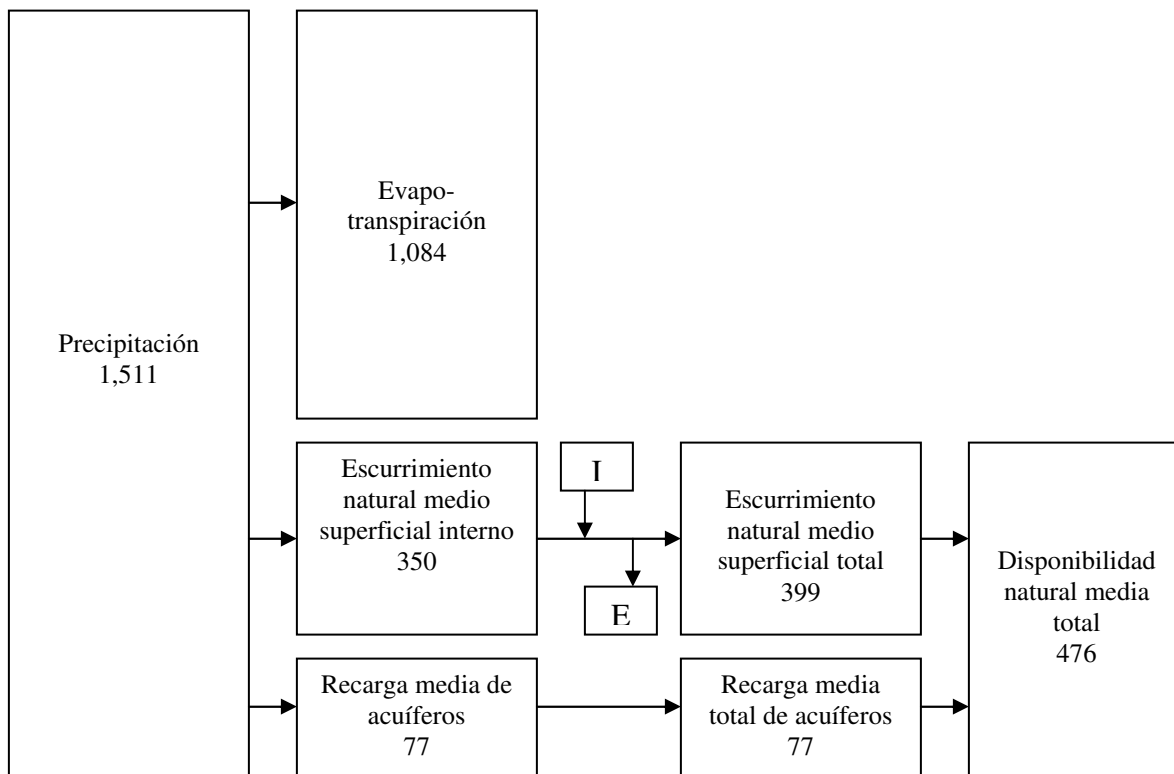
La mayoría de los suministros de agua dulce provienen de la precipitación pluvial que cae sobre una cuenca. La cuenca es el área de captación frecuentemente delimitada por montañas, en la que cualquier gota que caiga en ella se escurrirá hasta el río principal. La zona de captación de un río principal está formada por varias subáreas, que captarán el agua hacia los tributarios del principal; el agua de cada uno de estos ríos tendrá una composición química determinada por las actividades practicadas en la zona, el tipo de suelo entre otros factores. Así al reunirse en el río principal toda el agua de sus tributarios, cada uno aportará

componentes diferentes, es por ello que la composición química del agua de cada sitio es única.

El agua de lluvia puede permanecer en el suelo hasta evaporarse, almacenarse como nieve y escurrir cuando se funda para formar ríos y lagos, o infiltrarse en el suelo y convertirse en agua subterránea. El agua subterránea puede ascender por capilaridad, por la acción de las plantas, o por bombeo artificial desde pozos o perforaciones.

Los suministros de agua provienen de dos fuentes principales dentro del ciclo: el agua subterránea y el agua superficial, cada una tiene ventajas y desventajas.

En México poco más del 70% del agua que llueve se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el resto escurre por los ríos o arroyos o se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos.



I = Importaciones de otros países 48.9 (volumen de agua generado en un país colindante y que escurre hacia México.)

E = Exportaciones a otros países 0.43 (Volumen de agua que México debe entregar a Estados Unidos de América conforme al tratado de Aguas de 1944.)

Fig. II.2. Componentes del ciclo hidrológico (Valores medios anuales en Km³)
Fuente: Subdirección General Técnica. CNA.

II.3. Agua superficial

Agua superficial es un término general para nombrar al agua que se encuentra discurriendo o estancada en la superficie en arroyos, ríos, estanques, lagos y embalses. Este tipo de agua se origina por las escorrentías que es la lluvia que ha caído directamente sobre el terreno y escurre hacia una masa de agua; por precipitación directa hacia los cuerpos de agua; por el drenado de agua del manto intermedio cuando éste contenga un exceso de humedad; por descarga de la capa freática cuando su nivel sea lo suficientemente alto para descargar sobre la masa de agua.

En los ríos del país escurren aproximadamente 399 km³ de agua anualmente, incluyendo las importaciones de otros países y restando las exportaciones. Aproximadamente el 87% de este escurrimiento se presenta en los 39 ríos principales de México, cuyas cuencas ocupan el 58% de la extensión territorial continental del país.

El 65% del escurrimiento superficial pertenece a siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá, cuya superficie representa el 22% de la del país.

II.4. Lagos y embalses

Conforme las ciudades crecieron se hizo indispensable traer agua desde lugares distantes, así se construyeron embalses artificiales en los que se puede controlar el nivel de agua para dotar las ciudades en las estaciones secas. Muchos lagos tienen una entrada y una salida, por lo que se les puede considerar como ríos de caudal lento, esto ayuda al tratamiento del agua, ya que las bacterias pueden degradar la materia orgánica presente, existe floculación y sedimentación natural, que eliminan pequeñas partículas. Sin embargo, la situación se complica debido a que en las aguas estancadas la población de algas es mucho mayor que en los ríos, y porque los embalses profundos se pueden estratificar térmicamente, especialmente durante el verano.

La estratificación del agua en los lagos y embalses ocurre debido a que, la densidad del agua es mayor cuando se encuentra exactamente a 4°C $-1,000 \text{ kg/m}^3$ que a temperaturas superiores e inferiores -999.87 kg/cm^3 a 0°C y 999.73 kg/cm^3 a 10°C-. Durante el verano el sol calienta la superficie del agua reduciendo su densidad, de forma que el agua más fría permanece en el fondo del lago. Conforme el agua continua calentándose se forman dos capas diferentes. La capa superior epilimnion es mucho más caliente que la capa inferior, hipolimnion. Debido a la diferencia de densidad las dos capas permanecen separadas por una frontera estática conocida como termoclina como se puede observar en la figura II.3.

En el epilimnion la temperatura del agua es caliente, se encuentra expuesta a los rayos solares y en contacto con el material que deposita el viento sobre la superficie del agua, por ello es un lugar ideal para el crecimiento de algas, en especial cuando los fertilizantes agrícolas contribuyen a su nutrición aportando el nitrógeno y el fósforo, que de otra forma sería un limitante de la población de algas.

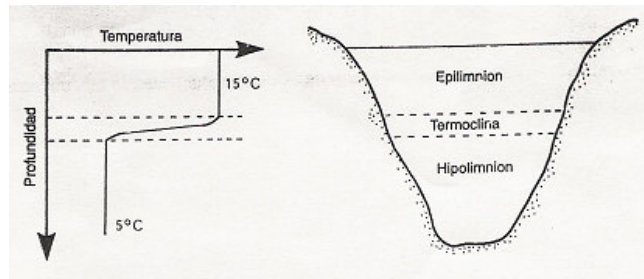


Fig. II.3. Estratificación térmica en lagos y embalses profundos.
Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

Las algas liberan oxígeno durante el día por medio de la fotosíntesis, pero en la noche lo consumen con su respiración, cuando el lago se encuentra eutroficado la gran cantidad de algas eliminarán drásticamente el oxígeno durante la noche provocando la muerte de los peces, y ocasionando problemas para el tratamiento del agua. En contraste en el hipolimnion casi no hay movimiento y rápidamente se desoxigena al caer el material en descomposición de las capas superiores. Bajo condiciones anaerobias en el hipolimnion se liberan de los sedimentos del agua del lago hierro, manganeso, amoníaco, sulfuros, fosfatos y sílice, mientras que el nitrato se reduce a nitrógeno gaseoso. Todos estos cambios hacen que el agua no sea adecuada para consumo humano, por ejemplo la presencia de hierro y manganeso provoca coloración y mal sabor, el amoníaco interfiere con el proceso de cloración, reduce el oxígeno del agua y actúa como nutriente facilitando la eutroficación, junto con el fósforo y el sílice. Los sulfuros también interfieren con la cloración, y tienen olores y sabores desagradables.

La termoclina tiene una tendencia a moverse lentamente hacia mayores profundidades conforme avanza el verano. Esta estratificación generalmente se rompe en otoño, o al comienzo del invierno cuando la temperatura del epilimnion decrece, esto incrementa la densidad del agua en esta zona, haciendo la estratificación inestable hasta que se rompe por completo. Una vez mezcladas las capas la calidad del agua mejora. Durante la estratificación, cada capa presenta una calidad del agua diferente a las demás, esto representa un problema para tratar el agua, ya que no siempre se puede contar con abastecimientos a diferentes alturas, o bombas para mezclar el agua artificialmente.

Tabla II.2. Principales lagos de México

No.	Lago	Área de la cuenca propia (km ²)	Capacidad de almacenamiento (hm ³)	Entidad Federativa
1	Chapala	1,116	8,126	Jalisco y Michoacán
2	Cuitzeo	306	920*	Michoacán
3	Pátzcuaro	97	550*	Michoacán
4	Yuriria	80	188	Guanajuato
5	Catemaco	75	454	Veracruz
6	Tequesquitengo	8	160*	Morelos
7	Nabor Carrillo	10	12*	México

Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. SGT. CNA.

* Los datos se refieren al volumen medio almacenado, todavía no se tienen datos actualizados sobre su capacidad de almacenamiento.

El abastecimiento de agua depende de un gran número de factores externos, como son el viento, la temperatura, el número de horas de sol, y la entrada de nutrientes al embalse entre otros.

II.5. Aguas subterráneas

Es generalmente de buena calidad, libre de sólidos en suspensión y, excepto en limitadas áreas donde han sido afectadas por la contaminación, libre de bacterias y otros patógenos. Por lo anterior, no requiere un extensivo tratamiento antes de su uso. Económicamente el agua subterránea es mucho más barata que el agua superficial, ya que se encuentra disponible en el lugar de demanda a un costo relativamente bajo y no requiere de grandes construcciones en embalses o conducciones.

Un acuífero es un estrato subterráneo de roca porosa, que permite la libre circulación del agua, una vez que ésta se ha infiltrado desde las capas superiores del suelo. La capa freática separa a la zona saturada de la roca, de la no-saturada.

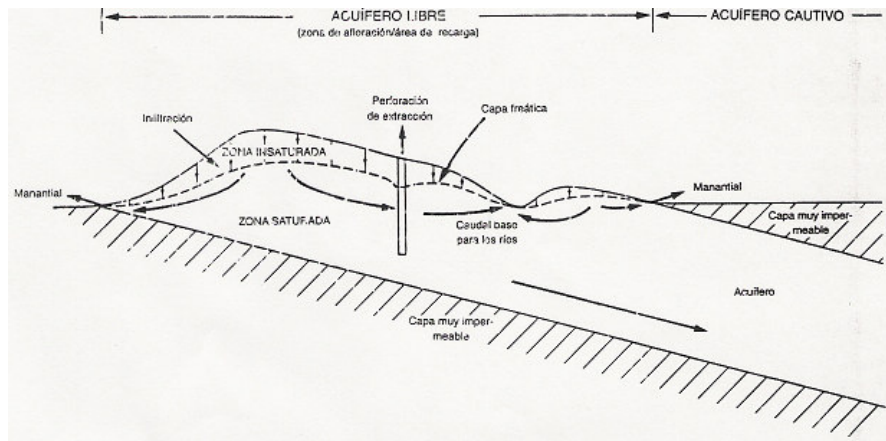


Fig. II.4. Diagrama de los sistemas de aguas subterráneas.
Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

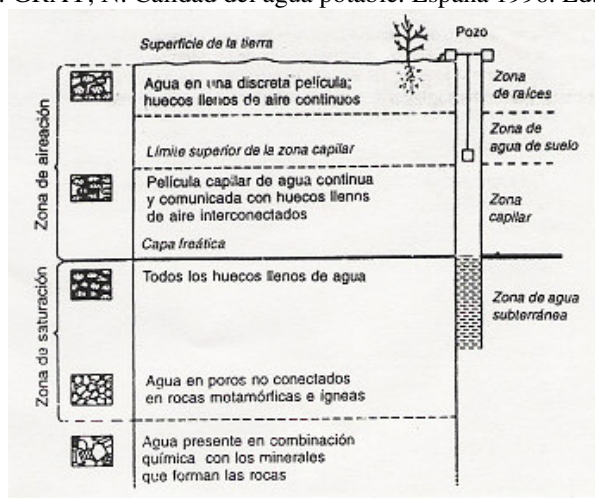


Fig. II.5. Corte transversal del suelo y del acuífero mostrando las zonas del suelo y rocas, y sus capacidades para contener agua.
Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

Las extracciones de agua subterránea en las márgenes de los ríos no son recomendables, debido a que el nivel freático puede descender y permitir la entrada de agua del río al acuífero contaminándolo.

El agua subterránea en los acuíferos libres proviene principalmente de las precipitaciones, es por ello que es especialmente sensible a la contaminación de origen difuso, especialmente a la ocasionada por la agricultura y la industria. Otros focos de contaminación del agua subterránea son los terrenos de relleno, los vertederos, el lagunaje incluyendo los fosos para lodos, el vertido en tierra de los lodos de aguas residuales, las escorrentías de las carreteras y la minería.

El agua subterránea, en general, consiste en un grupo de iones mayoritarios los cuales forman compuestos. Éstos son el calcio, sodio, potasio y en menor cantidad hierro y manganeso. Todos estos son cationes –carga positiva– los cuales se encuentran en el agua combinados con un anión –carga negativa– formando compuestos llamados sales. Los aniones mayoritarios son el carbonato, carbonato ácido –bicarbonato–, sulfato y cloruro.

II.6. Captación del agua

El agua puede ser captada desde los ríos, presas o aguas subterráneas. En las presas debe asegurarse que el nivel del agua mantenga un nivel mínimo, para que no se interfiera con los demás usos del río, tales como la navegación, pero debe asegurarse que se pueda tomar agua durante todo el año. La cantidad de agua que puede ser tomada puede estar limitada por el caudal mínimo necesario para proteger la calidad biológica del río, la cantidad necesaria para diluir vertidos industriales y domésticos, que en algunos casos pueden ser tratados por medios naturales, para prevenir que la marea invada la corriente aguas arriba convirtiendo el agua dulce en salobre, entre otras causas.

Después del suministro, el agua es devuelta a los ríos como un efluente de aguas tratadas en el mejor de los casos, y puede ser utilizada de nuevo aguas abajo.

II.7. Materia orgánica natural del agua

El agua natural contiene diversos compuestos orgánicos, inclusive el agua de lluvia contiene alrededor de 1 mg/l TOC –Carbono Orgánico Total–. La mayor parte esta disuelta como DOC –Carbono Orgánico Disuelto–, mientras que aproximadamente 10 % se encuentra en forma particulada. La diferenciación entre las fracciones de materia orgánica se realiza por medio de filtración con 0.45 micrómetros de poro.

La concentración de materia orgánica en el aguas subterráneas o marinas es pequeña, alrededor de 1 mg/l TOC, en aguas superficiales es variable en torno a la media de 5.5 TOC, y puede llegar a ser 30 mg/l TOC o más alta en lagos eutroficados.

La materia orgánica natural –MON– del agua proviene principalmente del arrastre de materia orgánica de los suelos, de reacciones biológicas y químicas que sufren los subproductos derivados de la descomposición de las plantas y animales en el medio acuoso.

La mayor parte de la MON de las agua superficiales se debe a las sustancias húmicas, representan entre el 30 a 50 % del total. Las principales características de las sustancia húmicas son:

- Presentan una gran reactividad con los halógenos, actuando como precursores de los subproductos de la desinfección.
- Son responsables del color en el agua natural.
- Tienen una gran capacidad de adsorción sobre carbón activo, alúmina y coloides minerales.
- Forman complejos con diversos cationes metálicos, particularmente con Fe^{3+} , Al^{3+} y Cu^{2+} , lo que aumenta la solubilidad de estos metales en el agua dificultando su eliminación.
- Pueden absorber contaminante orgánicos como pesticidas.
- Presentan baja biodegradabilidad, es decir la vida media de estos compuestos en el agua es larga.

Las sustancias húmicas se pueden dividir en dos fracciones, los ácidos fúlvicos y los húmicos.

Los componentes que contribuyen en menor proporción son:

- Carbohidratos: Compuestos como el almidón o celulosa, monosacáridos y disacáridos. Además de la descomposición de la materia vegetal, una fuente importante pueden ser las excreciones extracelulares del fitoplancton, sobre todo en agua marinas.
- Aminoácidos, proteínas y péptidos: Los aminoácidos están presentes en bajas concentraciones, predominan las proteínas y péptidos. En periodos de proliferación de algas, el contenido de proteínas se incrementa.
- Compuestos carbonílicos: Aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos y ésteres.
- Hidrocarburos: Pueden provenir por contaminación o arrastre desde el suelo o la atmósfera.

II.8. Tratamiento del agua potable

Durante el paso por las diferentes fases del ciclo hidrológico el agua diluye tanto las sustancias naturales como las producidas por el hombre, convirtiéndose así en inadecuada para el consumo humano. Las características indeseables en el agua potable se presentan en la tabla II.3.

Tabla II.3. Características indeseables en el agua para consumo humano

Característica	Causa
1.- Color	Esto se debe a la presencia de materia orgánica disuelta proveniente de suelos de turba, o sales minerales de hierro o manganeso.
2.- Materia suspendida	Debido a minerales finos o materia vegetal que no es capaz de sedimentar en las condiciones reinantes.
3.- Turbidez	Es una medida de la transparencia del agua. Puede deberse a partículas minerales en suspensión, alta concentración de bacterias, o inclusive a finas burbujas ocasionadas por exceso de aireación.
4.- Patógenos	Pueden ser virus, bacterias, protozoarios, u otro tipo de organismo que pueda afectar negativamente al consumidor.
5.- Dureza	La excesiva o extremadamente baja dureza del agua son igualmente indeseables. Las agua duras generalmente provienen del subsuelo, mientras que las aguas blandas son características de tierras altas.
6.- Sabor y olor	Puede deberse a contaminación con aguas residuales, excesiva concentración de productos químicos como el hierro, manganeso o aluminio, vegetación en estado de putrefacción, condiciones de estancamiento por falta de oxígeno, o a la presencia de ciertas algas.
7.- Productos químicos nocivos	Existe una gran variedad de contaminantes químicos del agua orgánicos e inorgánicos que son tóxicos. Estos productos son absorbidos por los sólidos y llegan al agua como desechos industriales o domésticos.

Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

El tratamiento del agua es el proceso mediante el cual el agua se toma en su estado natural para convertirla en apta para consumo humano y, posteriormente transportarla hacia la zona de servicio. Las características con que debe cumplir el agua una vez tratada se presentan en la tabla II.4. La NOM-127-SSA1-1994 que regula la calidad del agua en México, puede consultarse en el anexo.

Tabla II.4. Características con las que debe cumplir el agua una vez tratada.

Características	
1.- Grata	No debe tener sabor desagradable.
2.- Saludable	No debe contener ningún organismo patógeno, ni químicos nocivos.
3.- Limpia	Sin materia suspendida ni turbidez.
4.- Sin color ni olor	Aunque el agua pudiera ser saludable también debe ser estética y dar confianza al momento de beberla.
5.- Razonablemente blanda	Para permitir a los consumidores la higiene personal, lavar la ropa y la vajilla sin utilizar excesivamente jabones y detergentes.
6.- No corrosiva	El agua no debe oxidar las tuberías o facilitar el lixiviado de metales de las tuberías o depósitos.
7.- Bajo contenido de materia orgánica	La materia orgánica puede facilitar el crecimiento biológico en las tuberías y depósitos de almacenamiento, y afectar la calidad del agua suministrada.

Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

Las plantas de tratamiento deben ser capaces de producir agua de la más alta calidad independientemente de la demanda que se requiera. El tratamiento del agua consiste en una cadena de procesos en serie llamados operaciones unitarias. El costo final del agua depende de su limpieza inicial; mientras el agua sea más pura menos serán las operaciones unitarias necesarias para tratarla.

Tabla II.5. Principales procesos unitarios

Proceso
Tamizado preliminar
Almacenamiento
Filtrado y microfiltración
Aireación
Coagulación
Floculación
Clarificación
Filtración
Ajuste del pH
Desinfección
Ablandamiento y otros procesos terciarios
Eliminación de lodos

Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

II.8.1. Tamizado preliminar

Las plantas de tratamiento generalmente no se ubican en las proximidades de las ciudades, así que el agua tiene que ser transportada desde su sitio de captación hasta el lugar de tratamiento, para ello se coloca un tamiz grueso con el fin de separar cualquier material como ramas, hierbas, etc. que pudiera dañar las tuberías o las bombas.

II.8.2. Almacenamiento

Se utiliza para tener el agua disponible en la época del año que se requiera, además de que permite la libre actuación de procesos naturales que mejoran la calidad del agua, como la sedimentación, y la radiación ultravioleta, que destruye las bacterias. El color se aclara por la luz solar, mientras que algunas impurezas orgánicas responsables del mal sabor son oxidadas en la zona superior del depósito. La excesiva dureza también se puede reducir por la liberación de dióxido de carbono por parte de las algas presentes, éstas convierten los bicarbonatos en carbonatos que se precipitan. Aunque las ventajas son mayores que las desventajas existen problemas como la contaminación atmosférica, la deposición de las aves, y el desarrollo de algas si se almacena por más de diez días. En embalses profundos el principal problema, es la estratificación térmica.

II.8.3. Filtrado y microfiltración

Se efectúa una nueva filtración, pero esta vez con tamices finos de hasta 25,000 orificios por cm^2 . El microfiltro es un tambor giratorio que está parcialmente sumergido en el agua, conforme este rota, la diferencia de altura empuja el agua a través de la malla

dejando atrapadas a las algas y algunos patógenos de manera fortuita. Los orificios normalmente utilizados miden de 25 a 35 μm .

II.8.4. Aireación

El agua anaerobia puede afectar algunos de los procesos de la planta, por ello debe ser oxigenada antes de ser procesada. La mejor forma de airear el agua es por medio de borbotones de aire; sin embargo es demasiado caro, debido a esta situación se construyen cascadas artificiales en torres o fuentes, que al provocar turbulencia en el agua, la obligan a estar en contacto con el aire. Un aspecto que hay que considerar es la evaporación, por esto en ocasiones las torres se construyen cerradas.

Además de beneficiar al proceso, la aireación suministra oxígeno que sirve para purificar el agua y reducir su mal sabor. La aireación también reduce olores desagradables y la corrosividad del agua, al eliminar el dióxido de carbono gaseoso.

II.8.5. Coagulación

Después del filtrado, la mayoría de los sólidos presentes en el agua, son menores de diez micrómetros de diámetro –sólidos coloidales–, tan pequeños que tal vez nunca se sedimenten. Estos sólidos son partículas de arcilla, óxidos de metal, moléculas de proteínas grandes y microorganismos. Todas las partículas pequeñas tienden a estar cargadas negativamente, y como tales cargas se repelen, no formaran partículas mayores.

Un coagulante se añade al agua para desestabilizar las partículas y forzarlas a agruparse formando flóculos. Las sales más utilizadas como floculantes son:

- Sulfato de aluminio –alumbre–.
- Hidróxido de aluminio.
- Cloruro de polialuminio.
- Cloruro de hierro III.
- Sulfato de hierro III –melanterita–.
- Polímeros orgánicos sintéticos.
 - Poliacrilamidas.
 - Óxido de polietileno.
 - Ácido poliacrílico –también utilizado en los detergentes ecológicos–.

II.8.6. Floculación

Cuando las pequeñas partículas colisionan en un líquido, algunas se agregan para formar partículas más grandes. Conforme las partículas más grandes sedimentan, alcanzan algunas de las pequeñas; si colisionan estas últimas se agregarán a la mayor.

La probabilidad de choque entre partículas se puede incrementar agitando levemente el agua, este proceso se conoce como floculación.

II.8.7. Clarificación

Aquí los flóculos formados en los dos procesos anteriores se eliminan por sedimentación. En este proceso el agua fluye de la parte inferior a la superior del tanque, mientras los flocúlos que son más pesados que el agua se quedan en el fondo, el agua sale por medio de un vertedor. Los lodos que se van acumulando son sacados para incrementar la eficiencia del clarificador, sin embargo, hay que ser muy cuidadoso en el manejo de este material, que es un concentrado de todos los patógenos, algas y demás material extraño al agua.

II.8.8. Filtración

Después de la clarificación, el agua contiene únicamente sólidos finos menos de 10 mg/l. El agua pasa por filtros de arena que tienen que ser limpiados continuamente para que no se bloqueen. Los filtros lentos de arena además de retener las partículas coloidales, proporcionan un tratamiento biológico debido a que los 2 mm más superficiales contienen una mezcla de algas y bacterias nitrificantes –capa autotrófica–, ahí se eliminan el nitrógeno y el fósforo y se libera oxígeno. Debajo de esta capa se encuentran hasta una profundidad de 300 mm bacterias y otros microorganismos que eliminan del agua el coloide residual y la materia orgánica soluble –capa heterotrófica–.

II.8.9. Ajuste del pH

Este ajuste se debe a que el agua demasiado ácida corroe las tuberías, mientras que las aguas alcalinas ocasionan depósitos de sales, que reducen los diámetros de las conducciones provocando la reducción del caudal. El pH se ajusta en alguna de las etapas, como en la coagulación, para asegurar máxima eficiencia. Álcalis como cal, carbonato sódico o sosa cáustica se utilizan para incrementar el pH, mientras que los ácidos se usan para disminuirlo.

II.8.10. Desinfección

En la práctica no es posible esterilizar el agua debido a que se requerirían demasiados compuestos químicos, que la harían desagradable y tal vez peligrosa, por ello solamente se desinfecta. Existen diversas formas de desinfectar el agua, cada una con ventajas y desventajas estos métodos se encuentran en el capítulo V.

II.8.11. Ablandamiento y otros procesos terciarios

El tratamiento convencional es incapaz de eliminar del agua numerosas sustancias inorgánicas y orgánicas no biodegradables. La materia inorgánica soluble se elimina por precipitación química –convertir las sales solubles en otras insolubles para que se precipiten– o por intercambio iónico, mientras que las sustancias orgánicas que no se degradan biológicamente se pueden eliminar por adsorción utilizando carbón activo.

Para el intercambio iónico se utilizan resinas como la zeolita, ésta intercambia sus iones sodio por iones calcio y magnesio, así se puede extraer estos dos últimos elementos mientras el sodio que no causa dureza los sustituye en el agua.

II.8.12. Eliminación de lodos

El tratamiento del agua produce lodos en forma de una mezcla pastosa, que deben ser manejados con precaución debido a la cantidad de patógenos que contienen. Estos lodos se pueden incinerar o dejar desecar al aire libre.

II.8. Pruebas biológicas al finalizar el tratamiento

Al finalizar el tratamiento del agua en la planta, ésta debe carecer de material biológico, ya que de contenerlo podría ocasionar procesos de putrefacción debido a la falta de luz.

Para determinar si el agua contiene material orgánico, se realizan pruebas como las siguientes:

- *Añadir permanganato de potasio (MnO_4K)*, este destruye al descomponerse toda la materia orgánica, y tiñe el agua de morado. La cantidad de permanganato disuelta en el agua, indica el contenido de materia orgánica. La cantidad de permanganato disuelta debe ser menor de 12 mg/l de agua, que corresponden a aproximadamente 63 mg/l de materia orgánica.
- *Evaporar el agua hasta que quede un residuo de evaporación*, este residuo esta compuesto de materia orgánica e inorgánica. Si se calcina el residuo, la materia orgánica desaparece, así que pesando el material inicial y restando el que queda después de quemarlo, se puede conocer la cantidad que se consumió. Para el agua potable se puede admitir un residuo de evaporación de hasta 500 mg/l de agua.

II.9. Distribución del agua

Después de haber sido desinfectada el agua debe ser conducida a los consumidores, para ello existe una red de tuberías depósitos de servicio y estaciones de bombeo. Los depósitos de servicio sirven para asegurar que se pueda cumplir con la demanda en cualquier momento, también sirven como reserva, en caso de algún problema con la planta de tratamiento.

Bibliografía

- GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.
- RODRÍGUEZ, V. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. 2003. Ed. Díaz de Santos.
- PURSCHEL, W. La calidad de las aguas y su tratamiento. España 1976. Ed. Urmo.
- Estadísticas del agua en México. México 2004. Comisión Nacional del Agua.

III. Enfermedades transmitidas por el agua contaminada

III.1. Introducción

En países desarrollados como Canadá, o Europa occidental, las enfermedades hídricas han sido casi completamente erradicadas. Estos padecimientos se presentan solamente en pequeñas comunidades o en propiedades particulares que no cuentan con algún tipo de tratamiento para desinfectar el agua.

Cuando se presenta un brote epidémico, existen dos formas de atacarlo, la primera, es determinar la causa, y la segunda detener sus efectos, tratar la enfermedad y detener el contagio. Desgraciadamente, las dos alternativas son mutuamente excluyentes, ya que al momento de presentarse una epidemia, si se quisieran aplicar ambos criterios, el equipo encargado de detener el contagio seguramente aplicará dosis más altas de cloro, comenzando por la fuente de abastecimiento, y esto destruirá seguramente las pistas que podrían haber indicado el origen de la epidemia.

Puede darse el caso de que no se logre identificar el lugar o medio de infección, por ejemplo, en el caso de que se haya iniciado la epidemia con un contacto temporal de una fuente infecciosa con la fuente de abastecimiento, o que, el origen sea la comida, una inadecuada higiene personal, o el contacto con una persona infectada.

Muchos organismos patógenos provienen de los intestinos de humanos o animales, de ahí que la presencia de material en suspensión en el agua, nos puede hacer intuir que el líquido hospeda microorganismos patógenos. La acción desinfectante del cloro puede ser nulificada en este tipo de agua turbia, debido a que en ocasiones no logra alcanzar a los microorganismos, y en otras porque el cloro es poco efectivo contra virus, especialmente el de la hepatitis.

Al organismo operador de un sistema de abastecimiento de agua le concierne tanto la responsabilidad moral, como legal, al suministrar el líquido a una comunidad. Dicho organismo debe asegurarse de que todas las posibles barreras contra los microorganismos sean efectivas, ya que ellos se encuentran en casi cualquier fuente de agua cruda, y el dar oportunidad a que los patógenos infecten el agua, puede culminar en una epidemia de grandes proporciones.

Cuando las barreras desinfectantes no son efectivas se presenta la oportunidad a todos los microorganismos, por lo que pueden ocurrir brotes de varias enfermedades, al mismo tiempo. También es sabido que las enfermedades aparecen alrededor del mundo en olas, para después permanecer dormidas por un periodo de tiempo. Por ejemplo el cólera sigue un periodo de reposo y florecimiento; se presentó un brote en 1920, otro en 1950, y uno más en 1970. Por otra parte la tifoidea ha ido disminuyendo, mientras la hepatitis ha venido incrementándose. La disminución de casos de tifoidea también tiene relación con los mejores métodos para tratar el agua potable; sin embargo, estos nuevos procedimientos, son poco efectivos contra los virus.

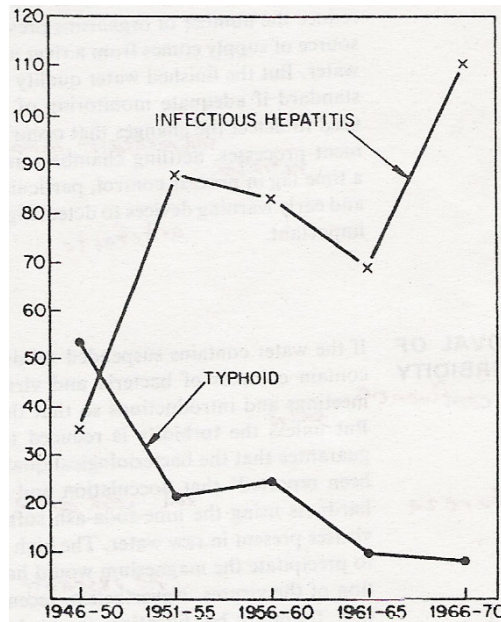


Fig. III.1. Promedios anuales de casos de tifoidea y hepatitis.

Fuente: Walker, R. Water supply, treatment and distribution. Estados Unidos 1978. Ed. Prentice-Hall.

Ha sido demostrado que es posible contagiarse de hepatitis por medio del agua, pero la principal vía es persona a persona, por medio de materia fecal. También se ha reportado, que los contagios producidos por agua, generalmente se deben a fracturas en la red de drenaje, que contaminan alguna tubería de distribución.

III.2. Enfermedades hídricas más comunes

Las enfermedades hídricas pueden ser clasificadas por medio del tamaño del agente involucrado. A continuación se listan algunas enfermedades y el nombre científico de los microorganismos causantes, comenzando por el más pequeño:

- Virus
 1. Enfermedades virales Echo (*Enteric Cytopathogenic Human Orphan*)
 2. Hepatitis infecciosa
 3. Poliomiелitis

- Bacterias
 1. Cólera, *Vibrio Cholerae*
 2. Disentería bacilar, *Shigela*
 3. Leptospirosis, *Leptospirae*
 4. Fiebre paratifoidea, *Salmonella Paratyphi*
 5. Tularemia, *Francisella Tularensis*
 6. Tifoidea, *Salmonella Typhi*
 7. *Escherichia Coli*
 8. *Yersinia Enterocolítica*
 9. *Campylobacter Fetus*

- Helmintos
 1. Dracunculiasis, *Dracunculus medinensis*
 2. Echinococosis, *Echinococcus*
 3. Esquistosomiasis, *Schistosoma*

- Protozoarios
 1. Amibiasis, *Entamoeba histolytica*
 2. Gardiasis, *Giardia lamblia*
 3. *Cryptosporidium*

III.2.1. Enfermedades virales

Los virus son parásitos intracelulares obligados, generalmente específicos respecto a las células que constituyen su albergue. No se reproducen por sí mismos, como las bacterias, sino que inducen a la célula hospedera, por medio de la excitación de sus sistemas bioquímicos a la producción de nuevos virus. Una partícula viral consiste de una molécula de ácido nucleico, ya sea ARN o ADN, dentro de una cubierta protéica o cápside

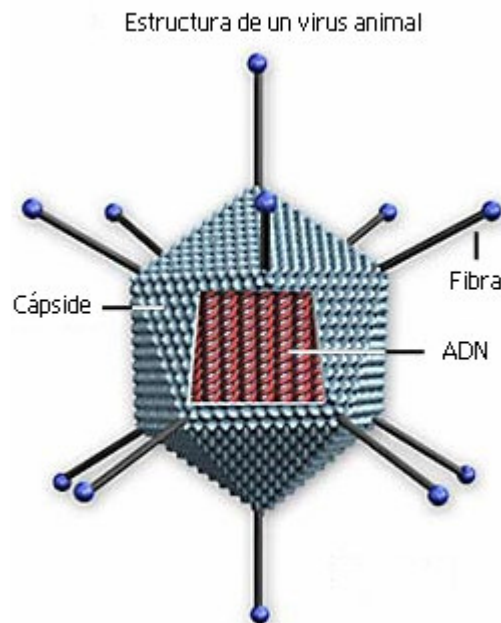


Fig. III.2. Estructura de los virus animales¹.

III.2.1.1. Enfermedades virales ECHO

El termino ECHO proviene de Enteric Cytopathogenic Human Orphan. Las enfermedades ECHO son meningitis aséptica, exantema epidémico -salpullido-, y diarrea infantil. Estas enfermedades recuerdan al virus de la poliomielitis; sólo pueden ser propagados en tejidos preparados con células de monos o humanos. Las diferentes cepas son clasificadas por medio de un número distintivo.

El exantema epidémico se manifiesta como un salpullido, acompañado de meningitis, o meningitis del sistema nervioso.

La diarrea infantil es causada por el virus ECHO 18, que ha provocado diarreas a niños recién nacidos, en hospitales.

III.2.1.2. Hepatitis infecciosa

Es causada por un virus más resistente a la cloración que el de la poliomielitis; puede sobrevivir a 1 mg/l de cloro por 40 min, y una dosis de 15 mg/l no siempre es suficiente para destruirlo. Generalmente se contagia por contacto de persona a persona, pero hay algunos casos en los que la rapidez de la propagación hace pensar que fueron provocados por contaminación fecal en el agua potable.

Los síntomas son fiebre, náusea, pérdida del apetito, vómito, insomnio, fatiga, dolor de cabeza, confusión mental y en ocasiones coma. El hígado se alarga y se hace suave; las heces se aclaran y la orina se oscurece; mientras los ojos y la piel se torna amarilla.

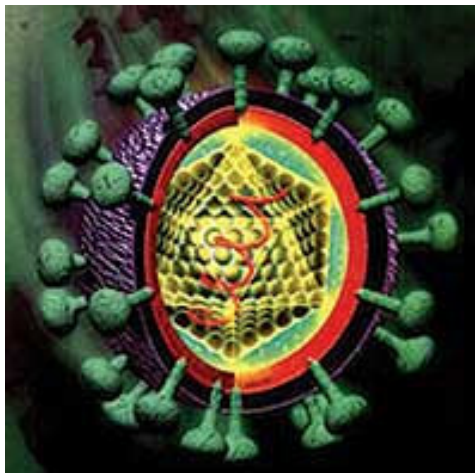


Fig. III.3. Virus causante de la hepatitis infecciosa².

Tiene un periodo de incubación de entre 9 y 38 días, con un promedio de 23 a 24. La incubación prolongada hace que sea difícil establecer el sitio de infección.

La enfermedad se distribuye en todo el mundo, siendo endémica en algunos lugares, en donde grandes cantidades de personas habitan en malas condiciones sanitarias.

Los brotes de hepatitis se presentan en un ciclo en el que se incrementa el número de personas infectadas alcanzando un clímax, al que enseguida se da una disminución que coincide con el resurgimiento de otra enfermedad infecciosa como la tifoidea. Después se presenta un periodo en el que la enfermedad convive con la humanidad sin causar problemas.

III.2.1.3. Poliomielitis

Existen tres tipos diferentes de poliomielitis, todos de aproximadamente 28 nm de diámetro; la principal diferencia entre ellos es la proteína de revestimiento, esta diferencia es importante cuando se intenta localizar la fuente de infección. El virus es bastante resistente, puede sobrevivir durante 180 días si se coloca en agua de río almacenada en la oscuridad a 4°C.

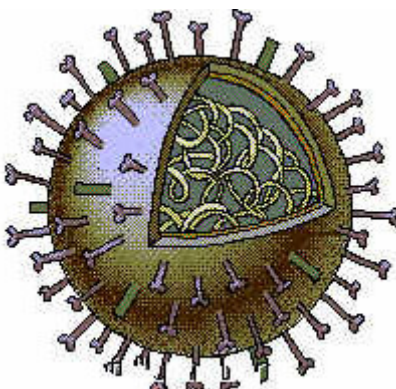


Fig. III.4. Poliovirus³.

El efecto del Cloro depende de la cantidad de materia orgánica que contenga el agua; una dosis de 0.05 mg/l de Cloro inactiva el virus en 10 min, el mismo efecto tienen 0.75 mg/l de cloramina durante 2 horas.

Los síntomas incluyen fiebre, dolor de cabeza, malestar gastrointestinal, rigidez del cuello y la espalda, con o sin parálisis. El virus invade el sistema nervioso central, provocando generalmente parálisis de los miembros inferiores. La parálisis depende del grado de infección.

La boca es la puerta de entrada a la enfermedad, que comienza a multiplicarse en la garganta y/o los intestinos. También es posible que el virus invada las amígdalas y posteriormente se esparza al sistema sanguíneo. La incubación es de 4 días a 5 semanas, y el paciente puede ser portador por varios meses.

La enfermedad está distribuida en todo el mundo, su incidencia es mayor en verano y otoño, y ataca preferentemente a niños de 1 a 16 años. En poblaciones inmunizadas, el virus se restringe a grupos no vacunados. El reservorio del virus son generalmente niños que son portadores no reconocidos clínicamente. Existe la duda si la poliomielitis es una enfermedad hídrica, sin embargo, en los años cincuenta en Canadá y E.U.A. se presentaron epidemias en las que el agua potable se cree fue la vía de contagio.

III.2.2. Enfermedades causadas por bacterias

Las bacterias son pequeñas, habitualmente de 1 micrómetro de diámetro, y no tienen membrana nuclear. El ADN de casi todas las bacterias es circular, y mide

aproximadamente 1 mm de longitud, este es el cromosoma de la célula procariota. El ADN tiene que enrollarse unas 1,000 veces para caber dentro de la célula.

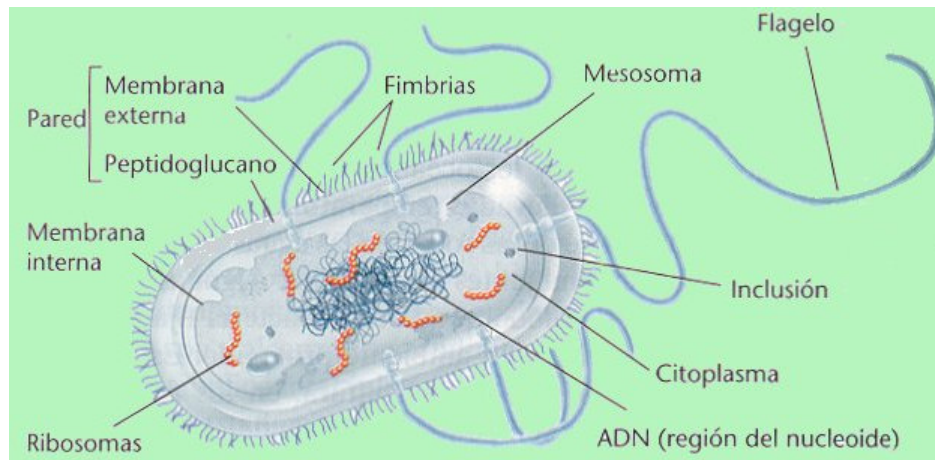


Fig. III.5. Estructura de una bacteria Gramm negativa⁴.

III.2.2.1. Cólera *Vibrio Cholerae*

Tiene poca resistencia a la desinfección, y a los agentes secantes. Es rápidamente sobrepasado en población por otros microorganismos, y no es activo durante mucho tiempo en aguas residuales. En ríos limpios, puede sobrevivir por una o dos semanas, y hasta por un mes en primavera. Los micro-organismos permanecen viables en inodoros abiertos por uno o dos días en verano, y hasta una semana en invierno.

El cólera asiático, es una enfermedad endémica aguda en Asia y el lejano Oriente, especialmente en la India y el delta del Ganges. Actualmente es una pandemia en partes de Indonesia.

Debido a que es una enfermedad transportable, no hay países inmunes. Solamente se puede controlar el contagio, con una buena sanidad, adecuado manejo de las aguas residuales, incluyendo su tratamiento, y la desinfección de las fuentes de abastecimiento de agua potable.



Fig. III.6. Bacteria causante del cólera⁵.

III.2.2.2. Disentería bacilar *Shigela*

También conocida como Shigeliasis. Es causada por la *Shigella flexneri*, *Shigella dysenteriae*, *Shigella sonnei* y por la *Shigella boydii*. Los primeros dos micro-organismos son comunes en los trópicos, el tercero vive en zonas templadas. La resistencia de la bacteria de la disentería, es similar a la de otros bacilos intestinales; son fácilmente destruidos por el calor y los desinfectantes. Existen reportes de que puede sobrevivir en agua estéril hasta por 24 horas, especialmente cuando es almacenada a bajas temperaturas, sin embargo, muere más rápidamente en aguas sucias, presumiblemente, atacada por bacteriófagos y sustancia antibacterianas.

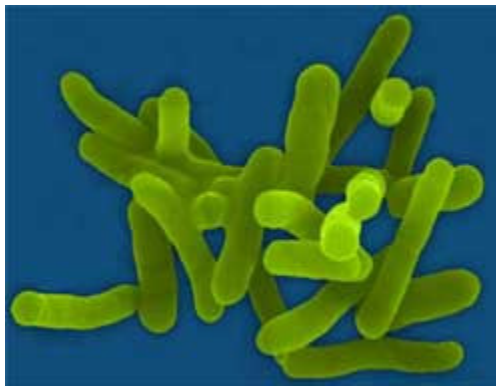


Fig. III.7. *Shigella sonnei*⁶.

Esta enfermedad es una de las principales causas de mortalidad en áreas donde las personas viven de forma primitiva, ataca principalmente a personas jóvenes o débiles. Ha sido demostrado que las epidemias de este padecimiento, pueden ser detenidas, asegurándose de que se tengan adecuadas condiciones sanitarias, mientras se seguirán presentando brotes aislados de pequeña escala.

III.2.2.3. Leptospirosis *Leptospirae*

Leptospirae es fácilmente destruida con calor. En agua de río la *leptospirae* sobrevive de 3 a 9 días dependiendo de la temperatura. Una dosis de 0.3 mg/l a un pH de 5, y entre 25° y 26°C de temperatura puede desactivar los microorganismos en 3 minutos; pero a pH de 8 se necesitan 3 mg/l para lograr el mismo resultado.

La vía de contagio es por medio de las excretas de mamíferos infectados con la *leptospirae*. El microorganismo entra en el cuerpo, a través de cortadas en la piel, de las mucosas o por beber agua contaminada. La enfermedad daña los riñones, produce inflamación del hígado, fiebre de entre 39° a 40°C, vómito e ictericia. Tiene un periodo de incubación de entre 4 y 19 días.

La *leptospirae* es considerada residente de los animales, alcanzando al hombre por medio de agua o comida contaminada. En el caso del agua, el contagio puede ser por ingestión y también por contacto.

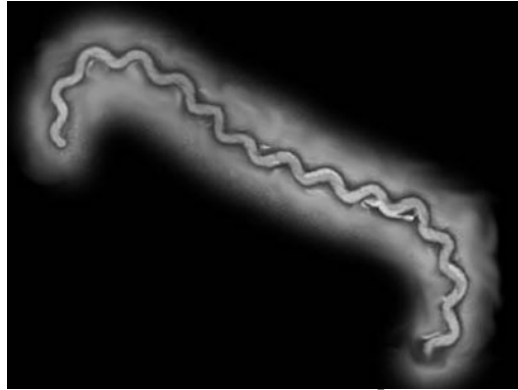


Fig. III.8. *Leptospirae*¹.

III.2.2.4. Paratifoidea *Salmonella paratyphi*

Existen más de 1500 tipos de salmonella, pero cada año sólo se detectan cerca de 200, de todos ellos únicamente la tifoidea y la paratifoidea, A y C, atacan al hombre. Todos los tipos de salmonella habitan el agua, sin embargo, usualmente se encuentran en la comida, siendo esta la ruta de infección más común.

Los síntomas de la tifoidea y de la paratifoidea son similares, pero la segunda es más benigna. Los síntomas de la paratifoidea parecida a la tifoidea son, fiebres altas, manchas rosas en el abdomen provocadas por la entrada de la infección en el flujo sanguíneo. El periodo de incubación es usualmente de 1 a 10 días, que es un tiempo menor al que presenta la tifoidea.

Los organismos causantes de la enfermedad son:

Salmonella paratyphi A, es un parásito del hombre del que no se tiene noticia de que habite en algún otro animal.

Salmonella paratyphi B, es un patógeno del hombre, y ocasionalmente se encuentra en el ganado vacuno, porcino, bovino y en los pollos.

Salmonella paratyphi C, es un parásito del hombre.

Los diferentes tipos de salmonella se encuentran distribuidos a lo largo y ancho del mundo, y aunque el micro-organismo se puede observar en animales domésticos y salvajes, sólo es común en el hombre.

III.2.2.5. Tularemia *Francisella tularensis*

Esta infección es causada por el micro-organismo llamado *Francisella tularensis*, también conocida como *Pasteurella tularensis*. Es un bacilo aerobio sin movimiento, que generalmente se encuentra en forma bacilar o coloidal, y ocasionalmente bipolar. El tiempo de incubación de la enfermedad es de 3 a 5 días.

Regularmente se encuentra en mamíferos salvajes sobre todo en roedores y conejos. Los brotes de esta enfermedad generalmente se presentan cuando agua de río o de estanque no tratada, tiene acceso a la red de distribución de agua potable, también puede deberse a fallas en las interconexiones o en las barreras contra infecciones. Otra fuente de contaminación, son las cisternas mal construidas, o que han sido invadidas por roedores.

La red de distribución, no es la única fuente de contagio, el padecimiento puede ser provocado por mordeduras de garrapatas, moscas, insectos, por contacto directo con un animal infectado o con su esqueleto.

III.2.2.6. Tifoidea *Salmonella typhi*

También conocida como fiebre entérica, la Tifoidea es ocasionada por el microorganismo *Salmonella typhi*, es hospedada por el ser humano, y se contagia por medio de la ingestión de líquidos o comida contaminada con materia fecal. No se conoce ningún otro animal que hospede o padezca la enfermedad. El patógeno es capaz de sobrevivir todo el invierno en el suelo congelado, y hasta 7 días en agua de pozo. Su vida en agua de río no tratada es de 5 a 7 semanas, sin embargo 99.9 % de los micro-organismos son inactivados en la primera semana.

Cuando los principios sanitarios no son seguidos, como no cubrir las excretas, la primer lluvia arrastra los parásitos hasta los ríos en donde el micro-organismo puede sobrevivir durante meses.

El patógeno abandona el cuerpo por medio de la orina, las heces fecales, y ocasionalmente, por la saliva.

La *Salmonella typhi* tiene casi la misma resistencia al cloro residual que la *Escherichia coli*, que es el organismo utilizado para monitorear el contenido de bacterias, en el agua potable. Es improbable que se presente una infección de Tifoidea, si *Escherichia coli* está ausente en el agua. La Tifoidea puede sobrevivir 211 días en agua no clorada, expuesta a la luz del sol y a temperatura moderada.

Debido a que el microorganismo es móvil, flagelado, gram negativo, y no produce esporas, es relativamente fácil eliminarlo con cloro. La única dificultad de un tratamiento con cloro, es que en ocasiones el patógeno está presente dentro de masas fecales en las que el cloro no puede penetrar. Es conocido que el micro-organismo puede vivir 12 días en el drenaje, y 14 en tanque séptico.



Fig. III.9. *Salmonella Typhi*⁸.

La fiebre tifoidea es una enfermedad seria que mata a un 10 o 20 % de las personas que infecta. Actualmente los antibióticos han reducido la tasa de mortalidad hasta 1%, sin embargo, la resistencia a los antibióticos del patógeno ha evolucionado.

Uno de los problemas para determinar la ubicación del brote de la enfermedad, es que tiene un largo periodo de incubación. Un típico brote de tifoidea provocado por agua tiene tres fase:

1. Periodo de invasión que dura cerca de un mes. Primero se presenta diarrea y gastroenteritis por 2 o 3 semanas, seguido de algunos casos de fiebre tifoidea.
2. Periodo en el que declina la infección; se presentan algunos casos de fiebre tifoidea, la mayoría adquiridos por contacto con enfermos, y sólo algunos del brote original.
3. Periodo de reacción intensiva, en el que se toman drásticas medidas sanitarias para eliminar los focos de infección, y controlar los contagios.

La tifoidea se encuentra diseminada alrededor del mundo, pero en E.U.A. y Europa Occidental ha sido prácticamente erradicada, por medio de la higiene personal, y buenos sistemas de distribución de agua.

Actualmente se recomienda la inoculación contra la tifoidea, para personas que trabajan en plantas de tratamiento de agua residual, pero esta no significa inmunidad.

III.2.2.7. *Escherichia Coli*

La *Escherichia Coli*, es un miembro normal de la flora intestinal así como otras bacterias entéricas (*Proteus*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Morganella*, *Providencia*, *Citrobacter* y especies de *Serratia*.) A veces se encuentran pocas bacterias entericas en los sistemas respiratorio, y genital. Por lo general, las bacterias entéricas, no causan enfermedad y pueden contribuir al buen funcionamiento del intestino y a la nutrición. Las bacterias sólo se vuelven patógenas, cuando alcanzan tejidos fuera de sus sitios habituales en el intestino. Las manifestaciones clínicas dependen del lugar afectado.



Fig. III.10. *Escherichia coli*⁹.

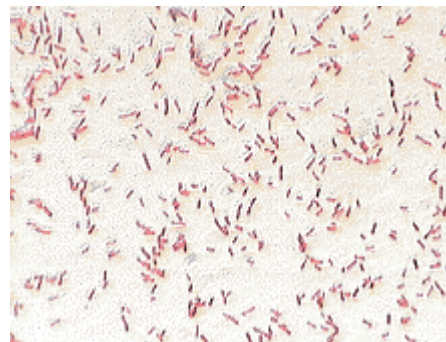


Fig. III.11. *Proteus*¹⁰.

III.2.2.8. *Yersinia Enterocolítica*

Bacilos cortos, pleomórficos, Gramnegativos, causante de enfermedades diarreicas.

III.2.2.9. *Campylobacter Fetus*

El *Campylobacter Fetus* es un patógeno oportunista que causa infección sistémica, en pacientes inmunodeficientes. A veces causa diarrea.

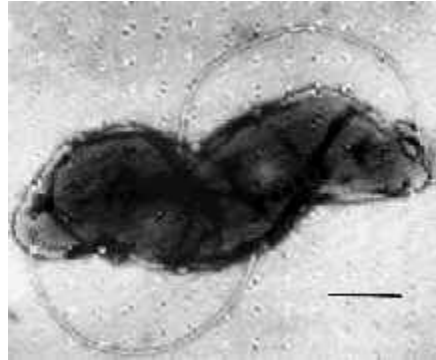


Fig. III.12. *Campylobacter fetus*¹¹.

III.2.3. Helmintos

Se le conoce como helmitos a una variedad de gusanos que parasitan el intestino del ser humano.



Fig. III.13. Helmito¹².

III.2.3.1. Draccunculiasis *Dracunculus medinensis*

La infección es causada por un gusano cilíndrico y alargado, llamado *Dracunculus medinensis*. Los machos de la especie son raros, miden de 12 a 40 mm, mientras que las hembras tiene aproximadamente 1 m de longitud.

Se trasmite al beber agua contaminada. En zonas endémicas, las aguas superficiales, y los pozos abiertos, son fuente de copepodos infectados.



Fig. III.14. *Dracunculus medinensis*¹³.

Los síntomas de la infección se manifiestan durante todo el periodo de incubación, y se intensifican unas horas antes de la aparición del gusano bajo la piel. Estos síntomas consisten en un enrojecimiento anormal de la piel, comezón intensa, vértigo, dificultad para respirar parecida al asma, y en ocasiones vómito y diarrea.

III.2.3.2. Echinococosis *Echinococcus*

Es causada por un pequeño gusano de 4 o 5 mm de largo, que tiene una cabeza y dos o tres segmentos. La infección consiste, en la formación de quistes en el tejido del hígado y los pulmones. La enfermedad es casi asintomático, pero puede ser mortal. La incubación es variable y llega a ser de varios años.

La Echinococosis no había sido considerada como enfermedad hídrica, hasta que la OMS, por medio de su revista de 1961, la consideró que el agua es un modo de transmisión de la enfermedad.

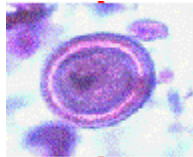


Fig. III.15. *Echinococcus*¹⁴.

III.2.3.3. Schistosomiasis *Schistosoma*

Existen tres clases de trematóodos que infectan el flujo sanguínea del hombre; *Schistosoma mansoni*, *Schistosoma japonicum* y *Schistosoma haematobium*. Los dos primeros organismos, causan infección intestinal, mientras el tercero, la provoca en las vías urinarias.

El ser humano es el principal hospedero de *Schistosoma mansoni* y *Schistosoma haematobium*, la mayor parte de sus huevos, salen del cuerpo por medio, de las heces y la orina. Cuando algún huevo de cualquiera de las tres especies, alcanza el agua, se convierte en una larva nadadora o miracidia que debe penetrar en el caracol o babosa adecuada –que son los hospederos intermediarios– en menos de 48 horas o morirá.

En la construcción de presas para almacenar agua, el diseño debe tener en consideración, el no crear hábitats favorables para la vida de los caracoles y babosas. El organismo es observable a simple vista, en agua clara es como un diminuto cabello blanco.



Fig. III.16. *Schistosoma*¹⁵.

La cercarie que emiten los caracoles y babosas puede acceder al hombre por penetración directa, a través de la piel, o por ingestión. Entonces se adentra en el flujo sanguíneo y es acarreado hasta el hígado, y las venas portas, donde se desarrollan los gusanos hembras y machos durante dos meses. Es cuando sus huevecillos son diseminados por medio de las heces y la orina del hospedero. Los síntomas, son dolores pulmonares y abdominales, comezón crónica y dermatitis.

La tasa de mortalidad de esta enfermedad es baja, pero causa años de debilidad en la que el afectado, es blanco fácil de contraer otro padecimiento que complique su situación y provocar su muerte.

Las larvas de otros esquistosomas de los pájaros y roedores, pueden penetrar la piel del hombre, causando dermatitis, sin embargo estos esquistosomas no maduran en el hombre.

III.2.4. Protozoarios

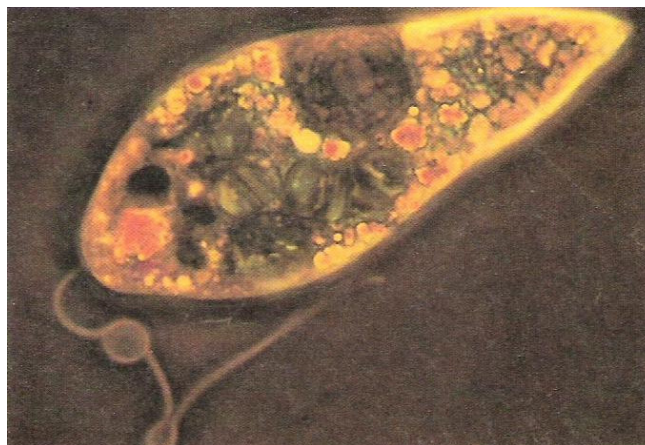


Fig. III.17. Microfotografía de el protozoo fotosintético Euglena, el núcleo es el área marrón, abajo en verde se observan los cloroplastos, abajo a la izquierda hay un flagelo¹⁶.

III.2.4.1. Amebiasis *Entamoeba histolytica*

Provocada por la *Entamoeba histolytica*, es contraída por medio de comida o agua contaminada. Existen por lo menos dos variedades del organismo, uno de 11 a 12 micrómetros, y otro de 7 a 9 micrómetros. Una infección puede resultar de un solo organismo o de una combinación de ambos. Los protozoarios son unicelulares, forman quistes muy resistentes. Son capaces de sobrevivir gracias a la protección que les brinda el organismo de las condiciones adversas. Los humanos somos el reservorio del agente infeccioso.



Fig. III.18. *Entamoeba histolytica*¹⁷.

El organismo sobrevive por un mes a 10°C. Se ha demostrado que la coagulación y filtración generalmente provee una adecuada protección, pero no siempre. Un medio que es completamente efectivo, es la filtración lenta en arena, seguida de cloración. El cloro por si mismo o inclusive 2 mg/l de cloramidas de amonio a pH de 4, inactivan al organismo en 30 min. En proporciones endémicas, se recomienda cloración, seguida de descloración, y recloración. Otros halógenos como el Bromo y el Yodo han sido utilizados como desinfectantes, pero es más económico utilizar cloro.

La infección se ubica en primer lugar en el colon. El afectado puede no tener síntomas, o mostrar diarrea, constipación, falta de apetito, molestias abdominal, y sangre y mucosa en las excretas. La enfermedad puede ser muy molesta, pero casi nunca fatal.

Usualmente se incuba en 2 o 3 días pero puede tardar hasta 4 semanas. El patógeno está distribuido en todo el mundo, pero prevalece en zonas con mala sanidad, en las que puede afectar hasta al 50% de la población. Se presenta más frecuentemente en países cálidos que en países templados, probablemente por las condiciones sanitarias. Los portadores pueden serlo por años sin que les cause ningún malestar, y continuar excretando la enfermedad.

III.2.4.2. Giardiasis *Giardia lamblia*

El responsable es un protozooario conocido como *Giardia lamblia*. Infecta el intestino delgado, y provoca, diarrea crónica, calambres abdominales, heces flotantes, grasosas o malolientes, fatiga y pérdida de peso.

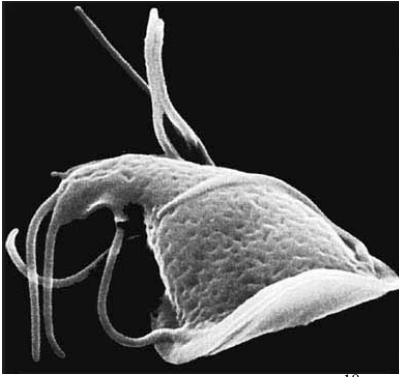


Fig. III. 19. *Giardia lamblia*¹⁸.

El periodo de incubación es de 1 a 4 semanas. Se cree que está distribuida por todo el mundo. Los niños son más susceptibles de contraerla que los adultos. El organismo es hospedado por animales, que lo dispersan por vía fecal contaminando el agua, o por quistes ingeridos al llevarse a la boca las manos.

III.2.4.3. Cryptosporidium

Este protozoo infecta diversos animales incluyendo los de compañía. Sin embargo, hasta hace poco se encontró que puede ser un patógeno humano, el primer caso ocurrió en 1976. El principal problema para su combate es que se presenta en un estado protegido, conocido como oosquiste, que le permite sobrevivir durante largos periodos de tiempo esperando a ser ingerido. Según Fayer y Ungar 1986 son capaces de completar su ciclo vital dentro de un mismo hospedero, y de provocar auto-infección. Una vez infectado el hospedero es portador de por vida. Provoca gastroenteritis durante periodos de dos semanas.

Bibliografía

- WALKER, R .Water supply, treatment and distribution. Estados Unidos 1978. Ed. Prentice-Hall.
- http://portal.unesco.org/education/es/ev.php-URL_ID=36653&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html

Imágenes incluidas

- 1 <http://microbackup.magnet.fsu.edu/cells/virus.html>
- 2 http://www.oeaz.at/zeitung/3aktuell/2003/17/serie/serie17_2003tara.html
- 3 <http://www.argon.interclub.net/polio1.html>
- 4 <http://www.gesund-durch-essen.ch/D-Bakt.html>
- 5 <http://www.fiocruz.br/ccs/estetica/colera.htm>
- 6 <http://antispid.ya1.ru/zppp.php?id=2525>
- 7 http://sea-river.com/eau/aqua02_4_gb.php
- 8 <http://www.dmacgroup.com/typhoid.htm>
- 9 http://biologie.univ-mrs.fr/pub/pub_pole.html
- 10 <http://www.ibiologia.unam.mx/zoo/personal.htm>
- 11 <http://www.intabalcarse.org/parque/servipit.htm>
- 12 Ibid. 11
- 13 <http://cuhwww.upr.clu.edu/~micro/protozoario.htm>
- 14 http://www.biosci.ohio-state.edu/~parasite/lifecycles/entamoeba_lifecycle.gif
- 15 <http://www.dpd.cdc.gov/DPDX/HTML/Schistosomiasis.htm>
- 16 Mathews, Van Holde y Ahern. Bioquímica. Madrid 2002. Ed. Pearson Addison Wesley.
- 17 <http://www2.mf.uni-lj.si/~mil/praz1/jpeg/1d2.jpg>
- 18 Ibid. 14

IV. Organismos no patógenos presentes en el agua

IV.1. Bacterias férricas

Bacterias no patógenas para el hombre también se pueden encontrar en los sistemas de distribución de agua. Forman limos al secretar materiales pegajosos y estructuras capsulares como productos extracelulares.

Las bacterias férricas son unas de los organismos dañinos más comunes para la industria del agua. Estas transforman el hierro soluble contenido en el agua, en compuestos insolubles, que se precipitan dentro de las cisternas, pozos y tuberías. Este tipo de bacteria provoca decoloración del agua, mal olor y sabor. Las bacterias sulfato-reductoras, también producen una zona de pH extremadamente bajo en las tuberías, ocasionando corrosión y liberación de Sulfuro de Hidrógeno gaseoso.

Las bacterias del hierro en los sistemas de distribución, son organismos no patógenos, pero causan daños a la industria. Su habilidad para adquirir hierro, y oxidar este elemento, produce acumulación de una gelatina viscosa y café compuesta de óxido férrico. Algunas de estas bacterias son capaces de absorber manganeso además de hierro.

La presencia de estas bacterias se delata al observar materia orgánica en los hidrantes, y finales de tuberías, cuando son drenados,

Hay tres organismos agrupados como bacterias férricas:

1. Leptothrix
2. Crenothrix
3. Gallionella

IV.1.1. *Leptothrix*

Es una bacteria en forma de vara de 1 micra de diámetro, por de 2 a 6 micras de largo; existe desnuda en cadenas, o cubierta por una vaina; los organismos son Gram negativos. La multiplicación se efectúa por fragmentación de los filamentos, o por la producción de enjambres de células móviles.

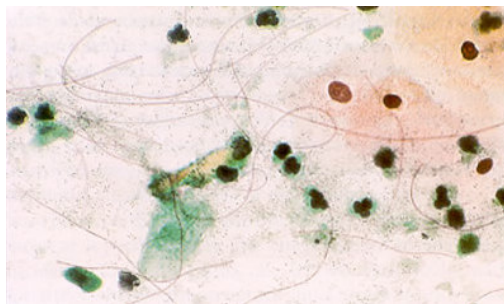


Fig. IV.1. *Leptothrix*¹.

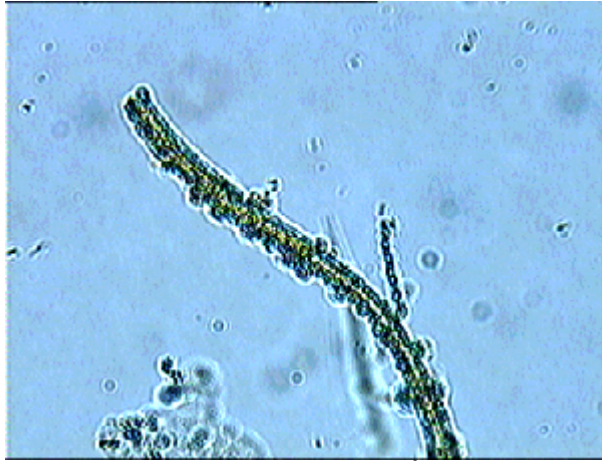


Fig. IV.2. *Leptothrix*².

IV.1.2. *Crenothrix*

Son organismos similares a hilos que se adhieren a objetos, como partículas de polvo o la superficie rugosa de las tuberías. Se pueden agrupar los organismos, para formar largos ramilletes. Los hilos miden 5 micras de diámetro, y 250 micras de longitud. El óxido de hierro se deposita sobre los filamentos, tornándolos cada vez más oscuros. El éxito de estos organismos en los sistemas de agua se debe a que producen gran cantidad de esporas. Se ha reportado que infestaciones de estos organismos no han desaparecido, después de un tratamiento con ácido hidrociorhídrico.

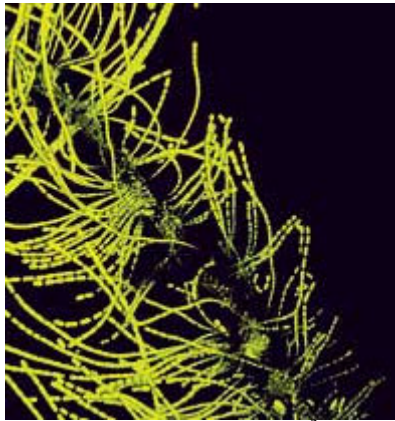


Fig. IV.3. *Crenothrix*³.

IV.1.3. *Gallionella*

Es un organismo en forma de frijol. Predomina en ambientes acuáticos en los que no llega la luz, como en pozos, tomas de agua, y finales de tuberías.

Las bacterias continuamente secretan hidróxido de hierro, en filamentos de longitud variable, que se tuercen y forman una maraña.



Fig. IV.4. *Gallionella*⁴.

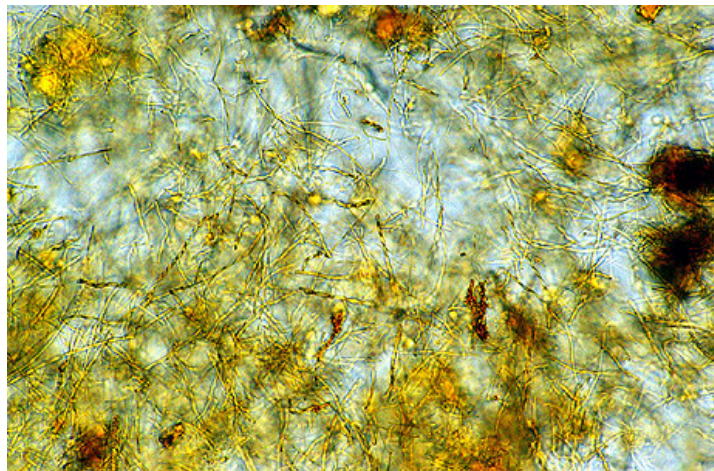


Fig. IV.5. *Gallionella*⁷.

IV.2. Nemátodos

Son gusanos de 5 micrómetros, capaces de atravesar el papel filtrante. Están presentes en las salidas de las plantas de tratamiento y en el agua de los jardines.

Se cree que los nemátodos no son patógenos, pero pueden albergar virus y otros organismos que sí los sean, protegiéndolos de las barreras desinfectantes de floculación, clarificación, filtración y cloración.

Excretan una sustancia pegajosa que imprime un olor característico, al diluir 1 parte en 20,000 de agua. Es posible que sus huevos pasen los filtros de arena, e incuben en los tanques clarificadores. Una dosis de 200 mg/l de cloro durante 2.5 horas, no es capaz de eliminarlos.



Fig. IV.6. Nemátodo⁶.

IV.3. Algas

El término algas se reserva para los organismos acuáticos productores de O₂ como resultado de la fotosíntesis. Todas las algas contienen clorofila en la membrana fotosintética de sus cloroplastos subcelulares. Muchas especies de algas son microorganismos unicelulares, otras pueden formar estructuras pluricelulares muy grandes. Durante el día las algas saturan de oxígeno el agua, pero en la noche baja el nivel de oxígeno, así como cuando el número de algas decae, debido a que el proceso de descomposición consume este elemento.

Las algas no son patógenas para el hombre al ingerirlas en pequeñas cantidades, pero sí lo son para algunos animales; además, causan mal olor y sabor cuando están en pleno florecimiento. También provocan sabores desagradables cuando están en descomposición. Estas son objeciones suficientes, pero al clorar el agua en ocasiones, el problema se incrementa. Disminuyendo la dosis de cloro el mal sabor se reduce, pero no es saludable, ya que se elimina la principal barrera contra las infecciones, así que es mejor incrementar la cantidad del elemento, hasta oxidar el componente indeseable.

IV.3.1. Alga verde

Chlorophyceae y Chlorophyta. Las algas verdes son muy diversas en formas, desde esféricas, móviles, organismos unicelulares de unos cuantos micrómetros, hasta filamentos de varios mm de longitud. Los pigmentos están localizados en los cromatóforos; lo que les da un color verde parecido al del pasto, es la clorofila A y B. La reserva de productos de Carbono, se almacena en almidones. Este grupo es muy común en agua corriente.

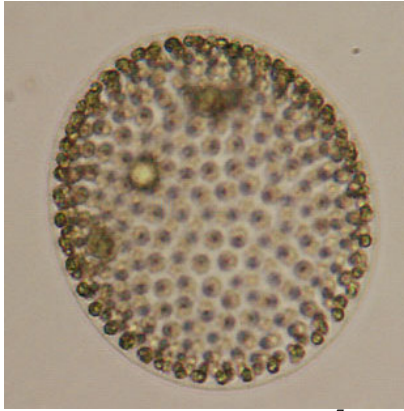


Fig. IV.7. Alga *Chlorophyceae*⁷.

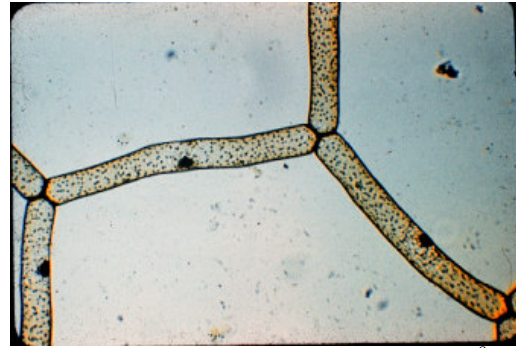


Fig. IV.8. Alga *Chlorophyta hydrodictyon*⁸.

El género *Chlamydomonas* que contiene unas 600 especies, es observable en casi cualquier hábitat. Este organismo unicelular, es un problema en la distribución de agua, ya que no es retenido en los filtros de arena. Algunas especies de *Chlamydomonas* forman masas gelatinosas, que tapan los filtros y dificultan su limpieza, además la combinación de estas mucosas, arena y Carbonato de Calcio, produce cristales que se pueden cementar en el filtro.

IV.4. Bacteria verde-azul o Cianobacteria (alga azul-verde)

Anteriormente clasificadas como algas, en la actualidad se les denomina bacterias, debido a que son procariotas. *Cyanophyta* y *Myxophyceae* son responsables de la mayoría de los problemas de calidad y capacidad de tratamiento de aguas superficiales. Los organismos tapan rápidamente los filtros de arena, y muchas especies producen sabores inaceptables, que se acentúan con la cloración. Estas algas son únicas, ya que no tienen núcleo distinguible. La reserva de alimento es un almidón de naturaleza incierta, pero emparentado con el de plantas más avanzadas. Las bacterias verde-azules incluyen formas unicelulares, filamentosas y colonias, que pueden ser encontradas en climas tropicales y fríos. Pueden vivir como plancton, en las profundidades, y algunas se incrustan en rocas y plantas mayores. Es común encontrarlas en aguas eutrofizadas, tornando el agua verde-azul e incluso roja. En climas anticiclónicos –con gran presión atmosférica–, forman natas espesas que son arrastradas por el viento. Ejemplo de este comportamiento son las especies, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena* y *Aphanizomenon*.



Fig. IV.9. *Anabaena*⁹.

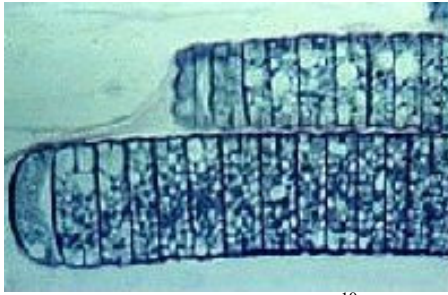


Fig. IV.10. *Oscillatoria*¹⁰.

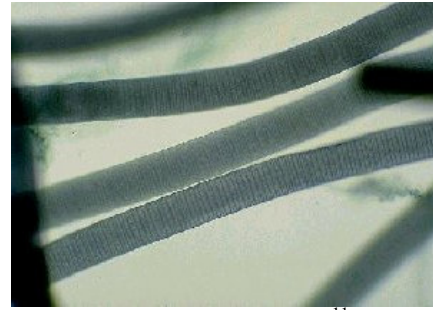


Fig. IV.11. *Oscillatoria*¹¹.

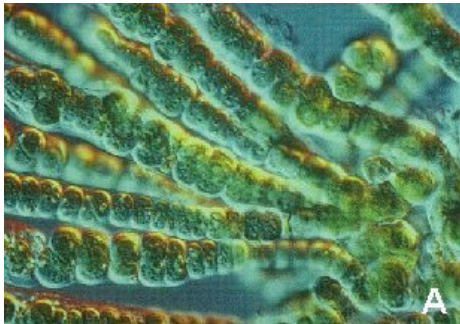


Fig. IV.12. *Aphanizomenon*¹².

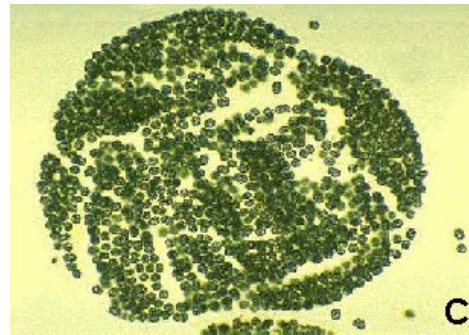


Fig. IV.13. *Microcystis*¹³.

IV.5. Diatomeas

Son organismos pertenecientes al grupo *Bacillariophyceae*, que se caracteriza por la presencia de Sílice en las paredes celulares. La superficie de la célula está esculpida con líneas estrechas, entre otras marcas.

Las diatomeas son organismos acuáticos que viven en aguas dulces y saladas, también llegan a encontrarse en tierras húmedas. La temperatura óptima para su desarrollo es entre los 15° a 30° C.

Estos microorganismos están estructurados por una sola célula formada por el citoplasma, que contiene al núcleo, cuerpecillo que interviene en la reproducción del organismo, y a los cromatóforos, pequeñas esferas formadas por el pigmento verde o clorofila, que les permiten fijar los rayos de luz para tomar la energía; a veces se encuentra en estos organismos un pigmento amarillento llamado diatomina, por lo que su color puede ir del verde olivo al pardo amarillento.

Las diatomeas son los organismos del fitoplancton cuya nutrición siempre es autótrofa, es decir que a partir de sustancias inorgánicas, agua y sales minerales, forman sustancias orgánicas como azúcares, grasas y proteínas.

El cuerpo de las diatomeas está cubierto por un caparazón translúcido formado por dos tapas, que le da el aspecto de una verdadera cajita de píldoras; el fondo es de menor

tamaño, que la tapadera, y encajan perfectamente. Estas dos tapas producidas por la diatomea se denominan valvas; el término diatomea significa dos partes, siendo la valva externa mayor y la interna más chica.

Este organismo puede comunicarse con el exterior debido a que en el caparazón de sílice se encuentran siempre poros alineados en filas radiales. A través de ellos se relaciona con el medio acuático para tomar de él las sustancias que necesita para elaborar su alimento o para su respiración, y dejar en este medio las que le sobran.

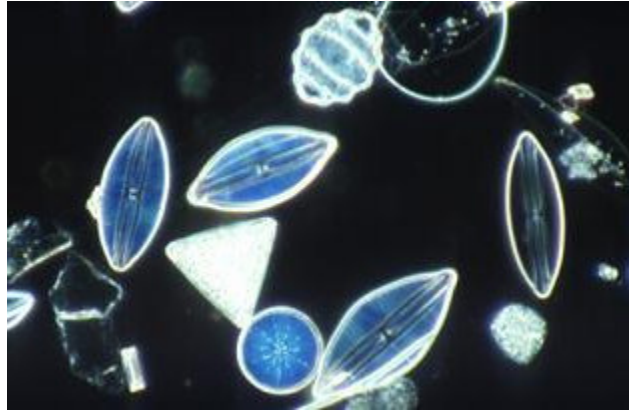


Fig. IV.14. Diatomeas¹³.

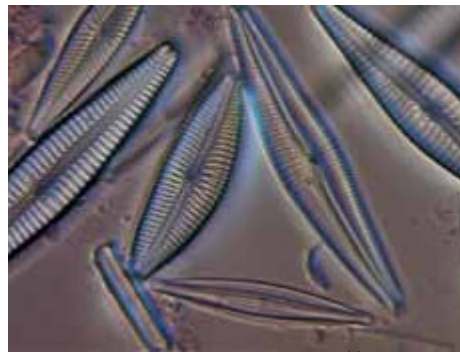


Fig. IV.15. Diatomeas¹⁴.

Bibliografía

WALKER, R. Water supply, treatment and distribution. Estados Unidos. Editorial Prentice-Hall. 1978.

Imágenes incluidas

- 1 <http://www.primer.ru/std/gallery%5Fstd/>
- 2 <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biotech/galerie/procaryotes/tableau/procaryotes.html>
- 3 <http://www.jgi.doe.gov/sequencing/why/CSP2007/crenothrix.html>
- 4 Ibid. 2
- 5 http://www.arvanitakis.com/gr/c/bac_gal/gallionella.htm
- 6 http://biologia.iztacala.unam.mx/biblioteca_en_linea/zoologia/nematodos/nematodos.html
- 7 <http://www.pmf.unsa.ba/biologija/talofiti/Chlorophyceae.htm>
- 8 http://www.skidmore.edu/academics/biology/plant_bio/photos/photos/lab8.html
- 9 http://pacelab.colorado.edu/courses/MCDB_4350_2002/HTML/slide_captions.htm
- 10 <http://www.pmf.unsa.ba/biologija/talofiti/Cyanophyta.htm>
- 11 Ibid. 10
- 12 Ibid. 10
- 13 Ibid. 10
- 14 http://www.fcen.uba.ar/prensa/noticias/2002/noticias_18nov_2002.html
- 15 http://www.ifop.cl/marearaja/las_claves_del_micromundo.htm

V. Métodos de desinfección del agua

La desinfección del agua, es el proceso mediante el cual los organismos patógenos son destruidos o inactivados. Este proceso puede realizarse mediante diferentes tratamientos físico-químicos.

Los organismos patógenos son destruidos durante los diferentes procesos físico-químicos; sin embargo, en los tanques de almacenamiento para agua potable y en las tuberías de conducción, los organismos continúan siendo eliminados aún en ausencia de desinfectantes.

El agua solamente se desinfecta, debido a que una esterilización –destrucción total de los organismos presentes– sería muy costosa, contendría demasiados compuestos químicos y no se podría asegurar que el producto final fuera saludable y agradable al consumidor.

Para la Comisión Nacional del Agua, el agua para consumo humano debe ser desinfectada para evitar enfermedades diarreicas. En la mayor parte de las localidades urbanas existen plantas potabilizadoras con las que no sólo se desinfecta el agua, sino que se le da todo un tratamiento para garantizar que tenga la calidad adecuada para consumo humano. Sin embargo, en gran parte de las localidades rurales sólo existen equipos dosificadores de cloro con los que se desinfecta el agua.

Del total de agua que se suministra en el país por medio de las redes municipales para consumo humano, en diciembre de 1990 se estimó que menos de 55% era desinfectada, en cambio en diciembre de 2002 el 95% del agua fue desinfectada, con lo que se redujo significativamente la incidencia de enfermedades diarreicas.

Tabla V.1. Caudal de agua para consumo humano desinfectada

Año	Agua suministrada [l/s]	Agua desinfectada [l/s]	Cobertura %
1991	240,075	202,900	84.2
1992	247,580	229,400	92.7
1993	249,692	237,149	95.0
1994	261,290	250,840	96.0
1995	272,404	256,265	94.1
1996	277,137	262,099	94.6
1997	283,631	269,047	94.9
1998	294,570	275,220	93.4
1999	309,774	287,147	92.7
2000	312,007	294,400	94.3
2001	315,300	301,950	95.8
2002	314,770	297,680	94.6
2003	320,682	305,847	95.4
2004	322,547	309,170	95.9

Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

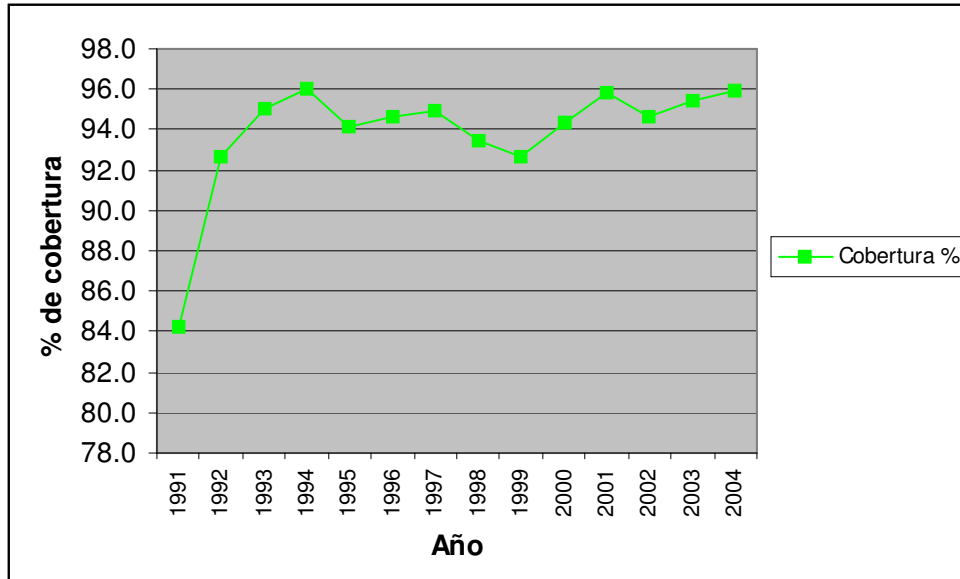


Fig. V.1. Porcentaje de agua suministrada que es desinfectada en México.
Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

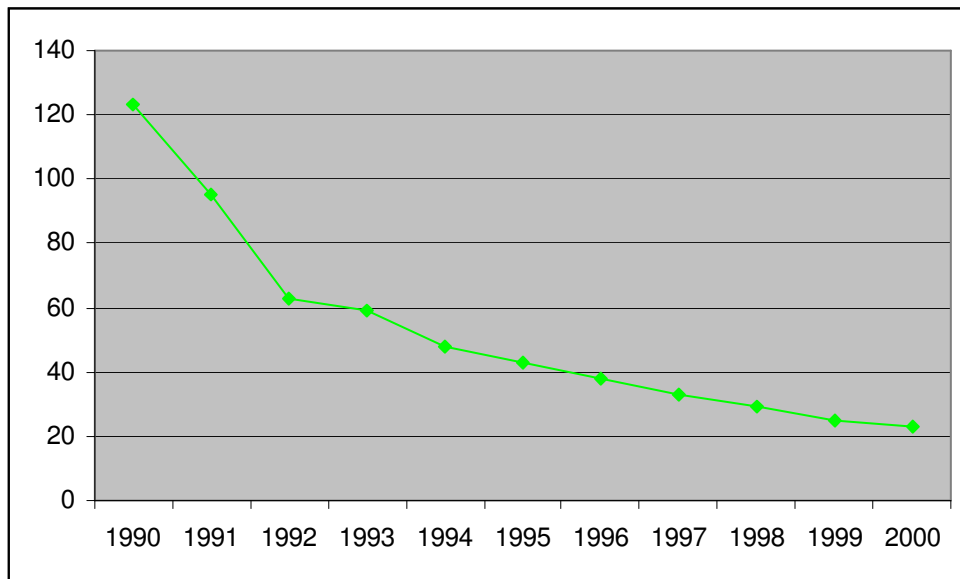


Fig.V.2. Mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años a nivel nacional en el periodo 1990-2000. Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

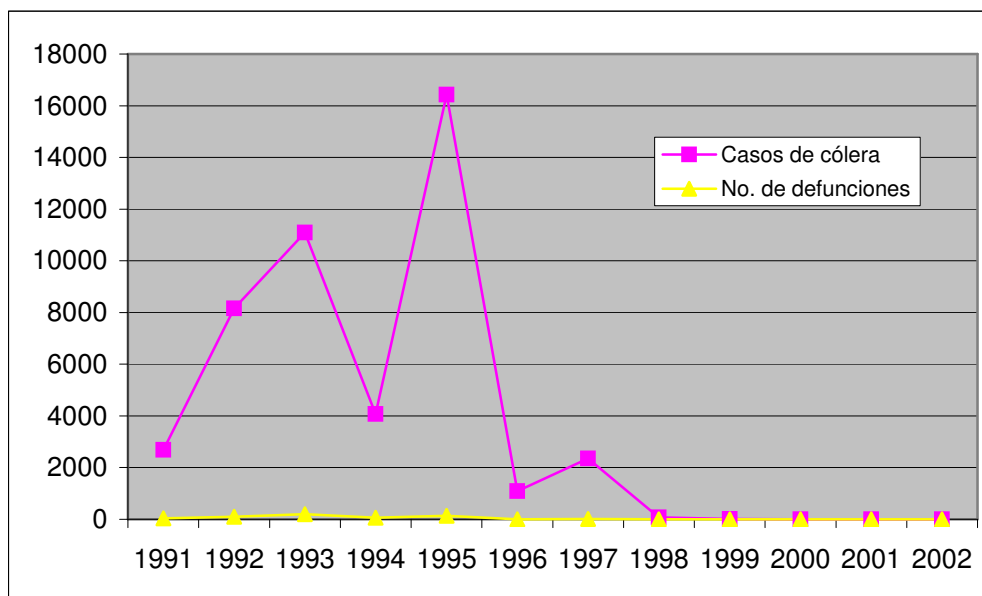


Fig. V.3. Número de casos y defunciones ocurridas en México a consecuencia del cólera.
Fuente: Estadísticas del agua en México. 2004. Comisión Nacional del Agua.

Tabla V.2. Casos registrados de enfermedades infecciosas del aparato digestivo

Enfermedad	2002	2003	2004
Enfermedades infecciosas intestinales	6,831,630	6,191,011	5,628,022
Infección intestinal, debida a virus y otros organismos y las mal definidas	5,374,980	4,823,611	4,519,120
Shigelosis	31,473	27,704	20,886
Amebiasis intestinal	0	0	0
Cólera	0	0	0
Fiebre tifoidea	7,889	20,020	24,759
Paratifoidea y otras salmonelosis	80,494	102,754	100,008
Intoxicación alimentaria bacteriana	21,659	36,057	36,603

Fuente: Estadísticas del agua en México. 2004. Comisión Nacional del Agua.

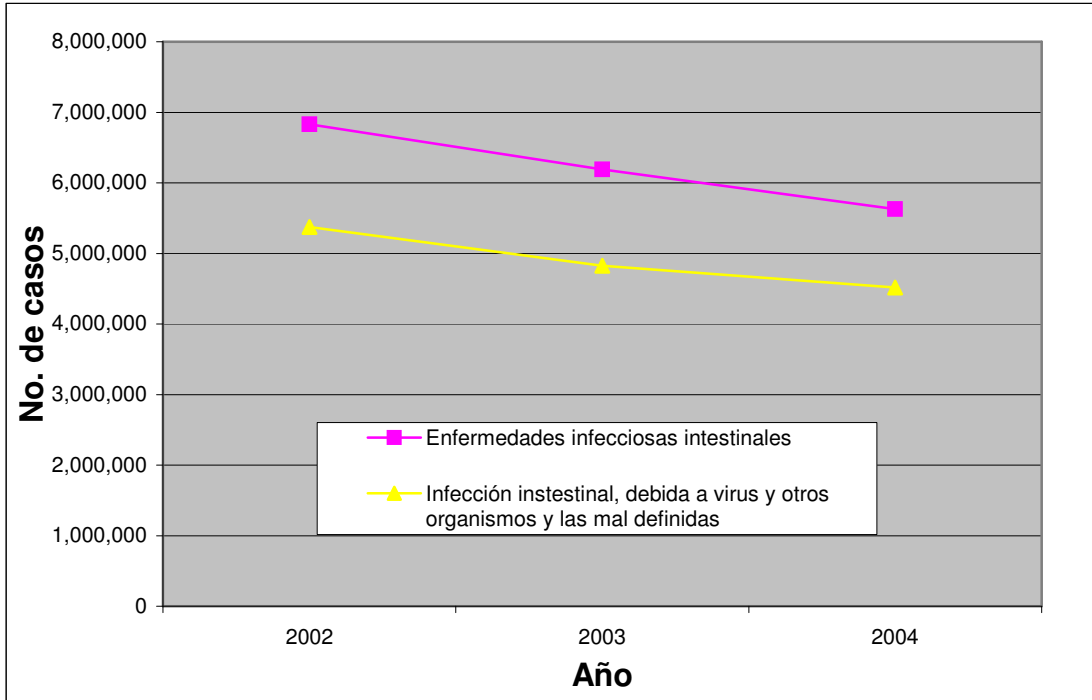


Fig. V.4. Número de casos registrados de enfermedades infecciosas del aparato digestivo 1.
Fuente: Estadísticas del agua en México. 2004. Comisión Nacional del Agua.

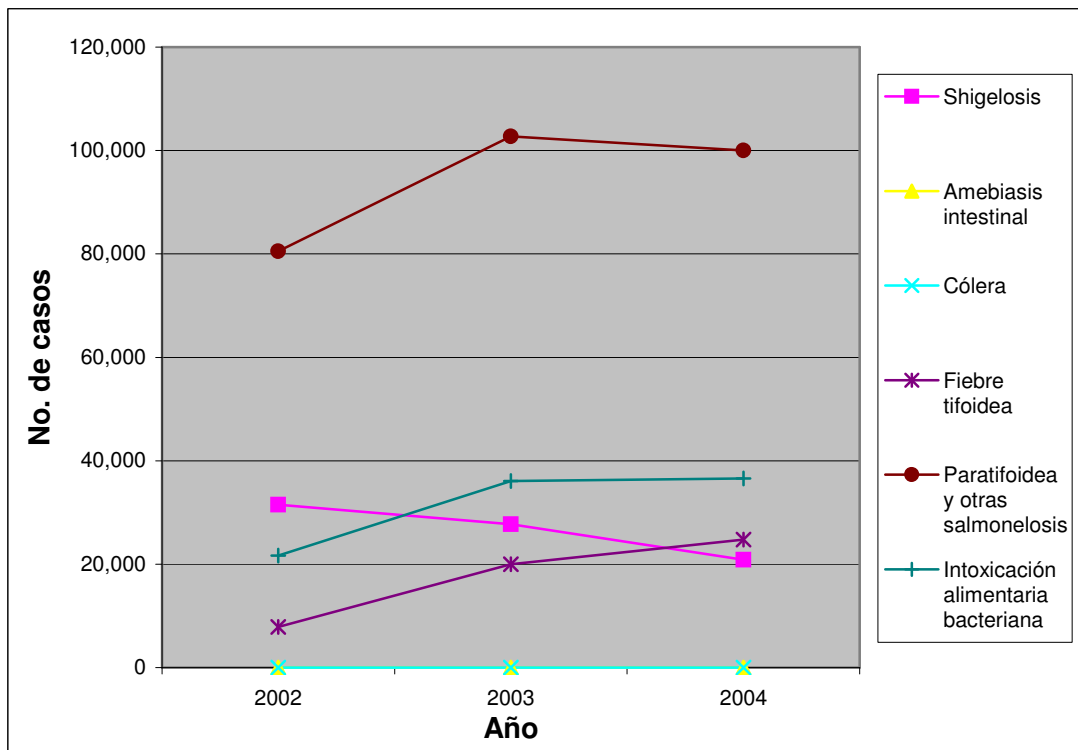


Fig. V.5. Número de casos registrados de enfermedades infecciosas del aparato digestivo 2.
Fuente: Estadísticas del agua en México. 2004. Comisión Nacional del Agua.

Tabla V.3.Evolución de la cobertura nacional de agua potable

Año	Población total en millones	Con servicio de agua potable, en millones.	Sin servicio de agua potable, en millones.	% de cobertura
1990*	81.2	63.1	18.2	77.6
1990	83.5	64.9	18.6	77.7
1991	85.1	67.2	17.9	79.0
1992	86.7	69.7	17.0	80.4
1993	88.4	71.9	16.5	81.3
1994	90.0	74.0	16.0	82.2
1995**	91.2	76.7	14.4	84.2
1996	92.7	78.8	13.9	85.0
1997	94.2	80.7	13.5	85.7
1998	95.8	82.8	13.0	86.4
1999	97.3	85.0	12.3	87.4
2000**	95.4	83.8	11.6	87.8
2000	96.6	85.5	11.1	88.5
2001	98.0	87.2	10.8	89.0
2002	99.3	88.6	10.7	89.2
2003	100.4	89.8	10.6	89.4
2004	101.4	90.7	10.7	89.5

Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

* XI y XII Censo General de Población y Vivienda, 1990 y 2000, INEGI; para 1990 se refiere al total de la población nacional y para 2000 a la que habita en viviendas particulares, a marzo y a febrero respectivamente.

** I Censo de Población y Vivienda 1995, INEGI, con cifras al mes de noviembre.

Para el resto de los años, la población se calculó a diciembre con base en los censos referidos y a la tasa de crecimiento obtenidas de las proyecciones de la CONAPO.

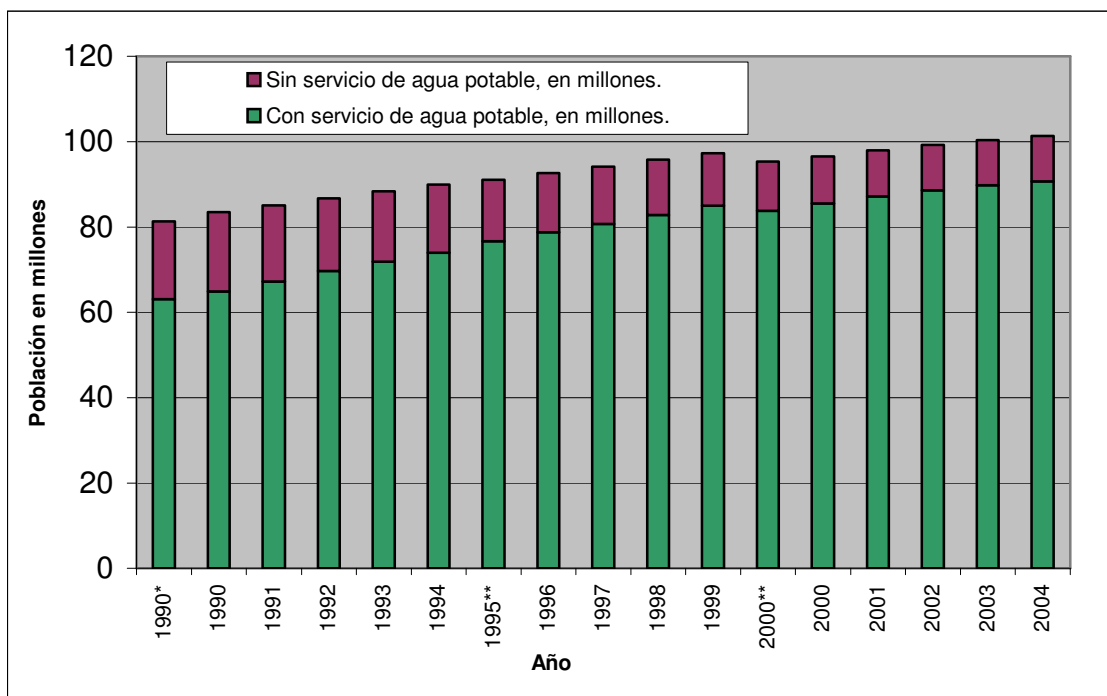


Fig. V.6. Evolución de la cobertura nacional de agua potable
Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

Tabla. V.4. Evolución de la cobertura de agua potable en zonas urbanas

Año	Población total en millones	Con servicio de agua potable, en millones.	Sin servicio de agua potable, en millones.	% de cobertura
1990*	59.8	52.9	6.9	88.5
1991	61.1	54.5	6.6	89.2
1992	62.4	56.3	6.1	90.2
1993	63.7	57.9	5.8	90.9
1994	65.1	59.4	5.7	91.2
1995**	67.0	62.0	5.0	92.6
1996	68.2	63.5	4.6	93.2
1997	69.3	64.9	4.3	93.7
1998	70.5	66.5	4.0	94.3
1999	71.6	68.1	3.5	95.1
2000**	71.1	67.3	3.8	94.7
2000	72.1	68.6	3.5	95.1
2001	73.1	69.8	3.3	95.5
2002	74.1	70.9	3.2	95.7
2003	74.9	71.7	3.1	95.7
2004	75.7	72.4	3.3	95.6

* XI y XII Censo General de Población y Vivienda, 1990 y 2000, INEGI; para 1990 se refiere al total de la población nacional y para 2000 a la que habita en viviendas particulares, a marzo y a febrero respectivamente.

** I Censo de Población y Vivienda 1995, INEGI, con cifras al mes de noviembre.

Para el resto de los años, la población se calculó a diciembre con base en los censos referidos y a las tasa de crecimiento obtenidas de las proyecciones de la CONAPO.

Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

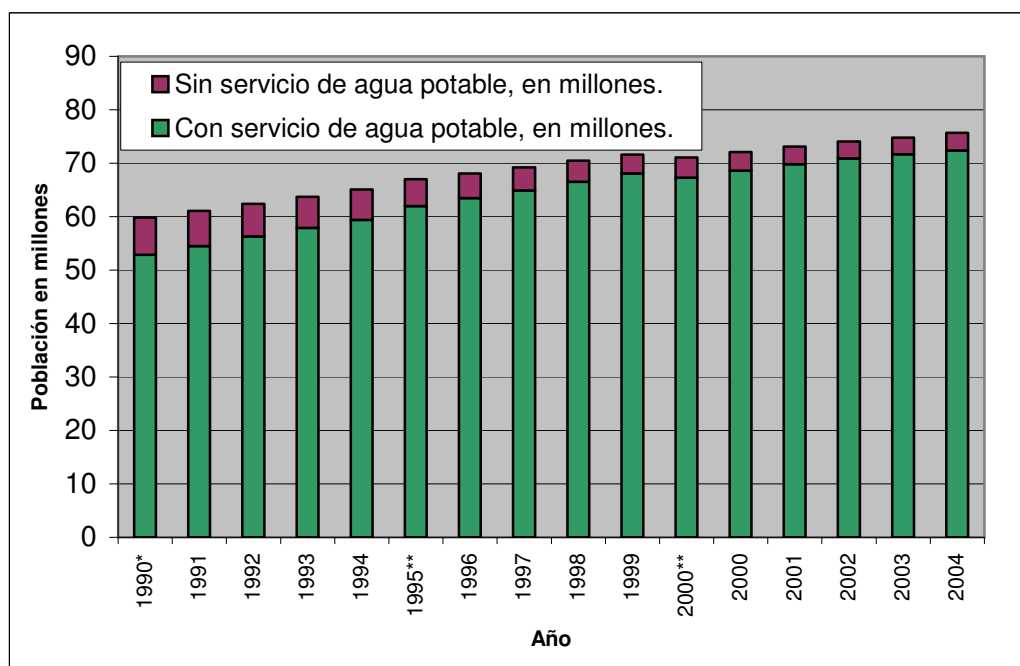


Fig. V.7. Evolución de la cobertura nacional de agua potable en zonas urbanas.

Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

Tabla. V.5. Evolución de la cobertura de agua potable en zonas rurales

Año	Población total en millones	Con servicio de agua potable, en millones.	Sin servicio de agua potable, en millones.	% de cobertura
1990*	23.7	12.1	11.6	51.1
1991	24.0	12.7	11.3	52.9
1992	24.3	13.4	10.9	55.1
1993	24.7	14.0	10.7	56.7
1994	24.9	14.6	10.3	58.6
1995**	24.2	14.7	9.4	61.0
1996	24.6	15.3	9.3	62.2
1997	25.0	15.8	9.2	63.2
1998	25.3	16.3	9.0	64.4
1999	25.7	16.9	8.8	65.7
2000**	24.2	16.5	7.7	68.2
2000	24.5	16.9	7.6	69.0
2001	24.9	17.4	7.5	69.9
2002	25.2	17.7	7.5	70.1
2003	25.5	18.0	7.5	70.8
2004	25.7	18.3	7.4	71.3

* XI y XII Censo General de Población y Vivienda, 1990 y 2000, INEGI; para 1990 se refiere al total de la población nacional y para 2000 a la que habita en viviendas particulares, a marzo y a febrero respectivamente.

** I Censo de Población y Vivienda 1995, INEGI, con cifras al mes de noviembre.

Para el resto de los años, la población se calculó a diciembre con base en los censos referidos y a la tasa de crecimiento obtenidas de las proyecciones de la CONAPO.

Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

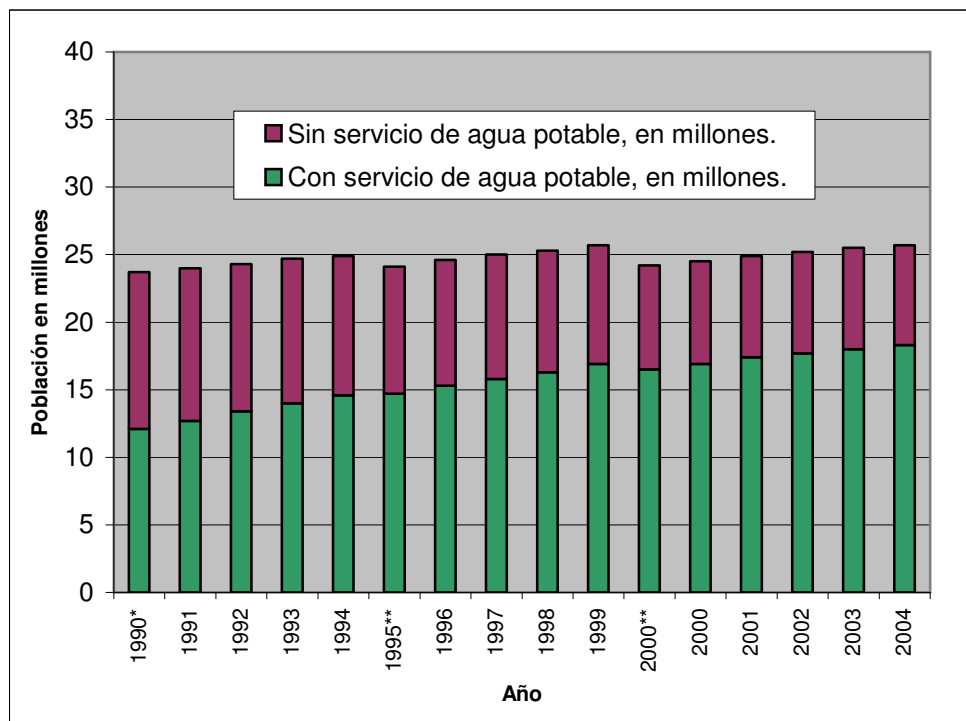


Fig. V.8. Evolución de la cobertura nacional de agua potable en zonas rurales.

Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

Tabla V.6. Cobertura por estado de la red de agua potable 2004.

Estado	Habitantes en viviendas particulares	Población con servicio de agua potable	%	Población sin servicio de agua potable	%
Aguascalientes	1,034,728	1,022,405	98.8	12,323	1.2
Baja California	2,597,262	2,525,267	97.2	71,995	2.8
Baja California Sur	461,479	448,814	97.3	12,665	2.7
Campeche	749,556	652,656	87.1	96,900	12.9
Chiapas	4,054,400	3,180,318	78.4	874,082	21.6
Chihuahua	3,210,849	3,062,486	95.4	148,363	4.6
Coahuila	2,411,385	2,391,374	99.2	20,011	0.8
Colima	551,913	540,657	98.0	11,256	2.0
Distrito Federal	8,523,657	8,484,928	99.5	38,729	0.5
Durango	1,474,555	1,380,097	93.6	94,458	6.4
Guanajuato	4,906,087	4,624,967	94.3	281,120	5.7
Guerrero	3,185,215	2,301,532	72.3	883,683	27.7
Hidalgo	2,341,874	2,058,929	87.9	282,945	12.1
Jalisco	6,597,934	6,128,811	92.9	469,123	7.1
México	13,650,029	12,372,969	90.6	1,277,060	9.4
Michoacán	4,097,008	3,726,830	91.0	370,178	9.0
Morelos	1,623,486	1,477,798	91.0	145,688	9.0
Nayarit	946,722	888,056	93.8	58,666	6.2
Nuevo León	4,087,225	3,962,354	96.9	124,871	3.1
Oaxaca	3,564,749	2,647,809	74.3	916,940	25.7
Puebla	5,241,978	4,388,611	83.7	853,367	16.3
Querétaro	1,532,838	1,462,595	95.4	70,243	4.6
Quintana Roo	1,019,032	985,581	96.7	33,451	3.3
San Luis Potosí	2,393,145	1,913,475	80.0	479,670	20.0
Sinaloa	2,609,498	2,530,426	97.0	79,072	3.0
Sonora	2,355,056	2,296,922	97.5	58,134	2.5
Tabasco	2,020,510	1,453,104	71.9	567,406	28.1
Tamaulipas	2,944,884	2,818,969	95.7	125,915	4.3
Tlaxcala	1,038,748	981,933	94.5	56,815	5.5
Veracruz	7,060,654	5,043,177	71.4	2,017,477	28.6
Yucatán	1,764,201	1,691,564	95.9	72,637	4.1
Zacatecas	1,383,719	1,297,761	93.8	85,958	6.2
Nacional	101,434,376	90,743,175	89.5	10,691,201	10.5

Fuente: Estadísticas del agua en México 2004. Comisión Nacional del Agua.

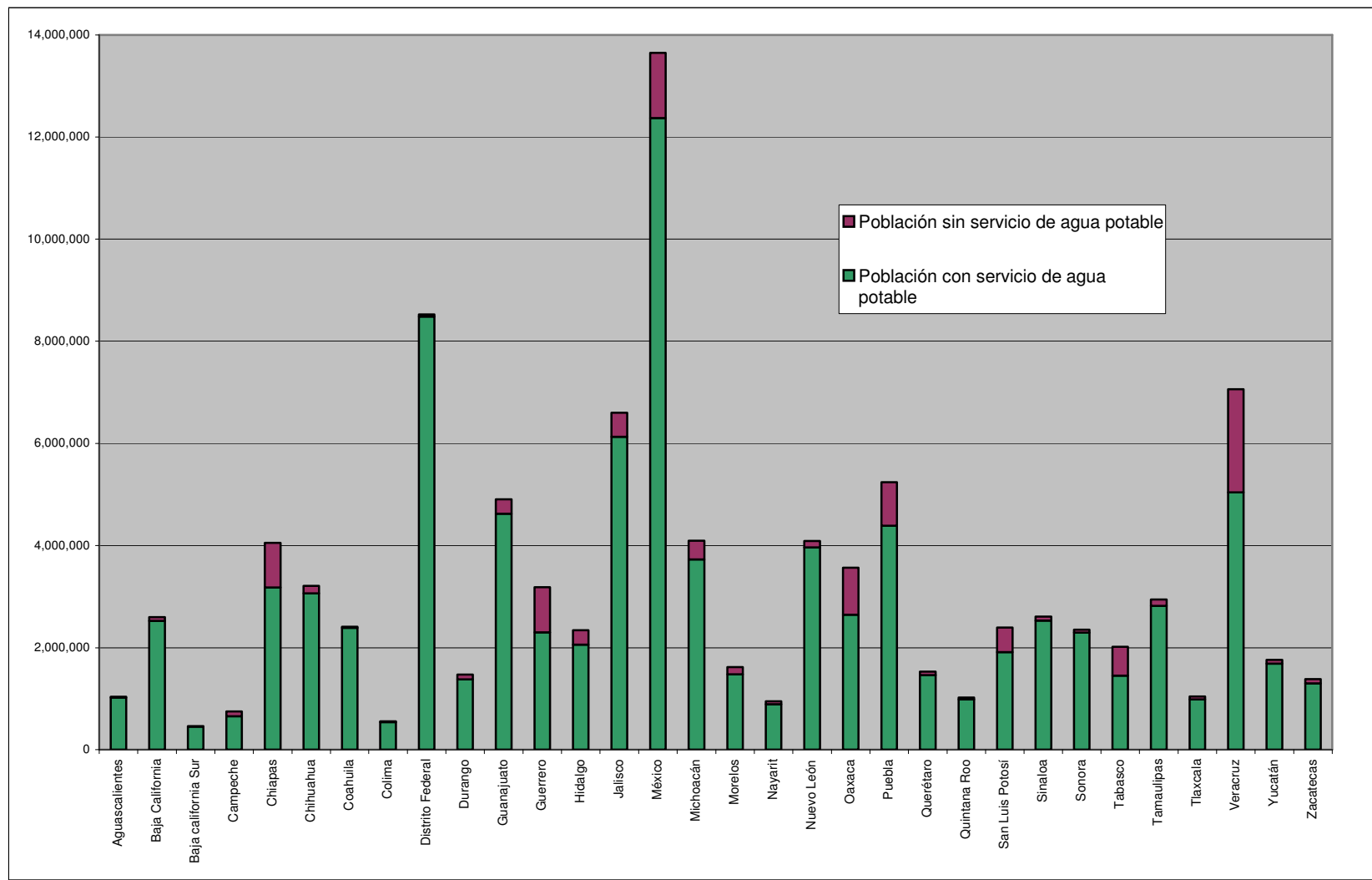


Fig.V.9. Cobertura por estado de la red de agua potable 2004.
Fuente: Estadísticas del agua en México. 2004. Comisión Nacional del Agua.

Las maneras de desinfectar el agua dependen de la naturaleza del desinfectante y del tipo de microorganismo por inhibir o destruir.

Mecanismos de desinfección

- **Químicos**
 - Halógenos
 - Cloro
 - Dióxido de cloro
 - Cloraminas
 - Flúor
 - Bromo
 - Yodo
 - Agentes oxidantes distintos de los halógenos
 - Ozono
 - Peróxido de hidrógeno
 - Permanganato
- **Reactivos**
 - Metales pesados
 - Ácidos y bases
 - Tensoactivos
- **Físicos**
 - Térmicos
 - Radiación ultravioleta
 - Radiación gamma
 - Radiación X

Es indispensable conocer la variedad de formas en las que se combate a los microorganismos que afectan al ser humano, para poder tener una imagen más clara de porque se utilizan algunos métodos en el tratamiento del agua para consumo humano y otros no. También es importante tener presente el significado de algunas palabras clave, por ello inicio dando sus definiciones.

V.1. Definiciones

Bacteriostático: Que tiene la propiedad de inhibir la multiplicación bacteriana; ésta se reanuda cuando se retira el agente.

Bactericida: Que posee la capacidad de matar a las bacterias. La acción bactericida difiere de la bacteriostásis únicamente en que es irreversible; es decir, el microorganismo “muerto” no puede reproducirse más, aún cuando sea retirado del contacto con el agente. En algunos casos el agente causa la lisis (disolución) de las células; en otros casos las células permanecen intactas e inclusive pueden continuar metabólicamente activas.

Esterilización: Exento de vida de cualquier clase. La esterilización puede efectuarse por filtración en el caso de líquidos o aire, calor, radiación o tratamiento con microbicidas. Debido a que el criterio de muerte para los microorganismos es su incapacidad para reproducirse, el material estéril puede contener células microbianas metabólicamente intactas.

Desinfección: Es un proceso en el cual los organismos son destruidos o inactivados. Este proceso puede llevarse a cabo mediante diversos tratamientos físico-químicos. Los organismos patógenos son eliminados durante las operaciones de tratamientos físico-químicos del agua, como. Coagulación, sedimentación, filtración, sedimentación, ablandamiento por cal-sosa y adsorción. La desinfección no destruye todos los microorganismos ni la totalidad de los patógenos.

Séptico: Caracterizado por la existencia de microorganismos patógenos.

Aséptico: Ausencia de microorganismos patógenos.

El mecanismo de desinfección depende tanto de la naturaleza del desinfectante, como del organismo al que se le aplica. Aunque la forma en la que actúan los diferentes desinfectantes no está plenamente esclarecida, existe evidencia para afirmar que la mayor parte de los desinfectantes destruyen la proteína celular, principalmente al inactivar los sistemas enzimáticos críticos, que son esenciales para la vida microbiológica. La destrucción o inactivación de las proteínas enzimáticas ocurre de varias maneras, dependiendo del tipo de desinfectante.

La presencia y generación de enzimas dentro de la célula bacterial, implica que el desinfectante, tiene que pasar primero por la membrana celular, y posteriormente reaccionar con ellas. Esto concuerda con la observación de que las moléculas neutras suelen ser bactericidas más eficientes que los iones, debido probablemente a que pueden atravesar más fácilmente las membranas celulares cargadas negativamente.

Los agentes químicos como el ozono, dióxido de cloro y cloro, son capaces de oxidar a los compuestos orgánicos presentes en el agua, y actúan como desinfectantes al degradar directamente la materia celular. Sin embargo, el poder oxidante que es

comúnmente expresado en función de el potencial de oxidación no siempre es proporcional a la capacidad desinfectante de un compuesto. Por ejemplo, el agua oxigenada es un oxidante fuerte pero no es un buen bactericida.

La aplicación de energía calorífica, irradiación por onda corta o disrupción ultrasónica producen la destrucción física del microorganismo, mientras que algunos compuestos químicos ejercen efectos venenosos para ellos.

Las sales de plata y mercurio precipitan la proteína celular y así destruyen la vida de los microorganismos.

V.2. Modos de acción

V.2.1. Daño al ADN

Algunos antimicrobianos actúan mediante el daño al ADN, entre éstos se incluye las radiaciones ionizantes, la luz ultravioleta y los compuestos químicos que reaccionan con éste ácido. En la última categoría están los agentes alquilantes y otros compuestos que reaccionan de manera covalente con las bases de purina y pirimidina para formar condensados de ADN o enlaces cruzados entre sus tiras. Las radiaciones dañan al ADN de varias maneras. Por ejemplo, la luz ultravioleta induce el entrecruzamiento entre pirimidinas adyacentes en una u otra de las dos tiras de polinucleótidos para formar dímeros pirimidínicos; las radiaciones ionizantes producen roturas en las tiras sencillas y en las dobles. Las lesiones al ADN inducidas por radiación y compuestos químicos destruyen la célula, principalmente por interferir en la replicación del ADN

V.2.2. Desnaturalización de las proteínas

Las proteínas existen plegadas en un estado tridimensional, determinado por enlaces disulfuro covalentes intramoleculares, y por los enlaces como los hidrófobos, iónicos y de hidrógeno. Este estado se denomina la estructura terciaria de la proteína, la cual se fragmenta con facilidad por diversos agentes físicos o químicos, que provocan que la proteína deje de funcionar. La fragmentación de la estructura terciaria de una proteína se denomina desnaturalización de la proteína.

V.2.3. Rotura de la membrana o pared celular

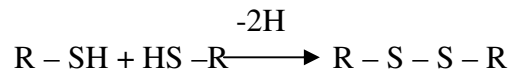
La membrana celular actúa como una barrera selectiva que deja pasar algunos solutos a través de ella y excluye a otros. Muchos compuestos se transportan activamente a través de la membrana y se concentran dentro de la célula. En la membrana también se encuentran enzimas vinculadas con la biosíntesis de los componentes de la envoltura celular. Las sustancias que se concentran en la superficie celular pueden alterar las propiedades físicas y químicas de la membrana e impedir sus funciones normales y, por consiguiente, matan o inhiben a la célula.

La pared celular actúa como una estructura de sujeción para proteger a la célula contra la lisis osmótica. Así, los agentes que destruyen (por ejemplo, la lisozima) o impiden

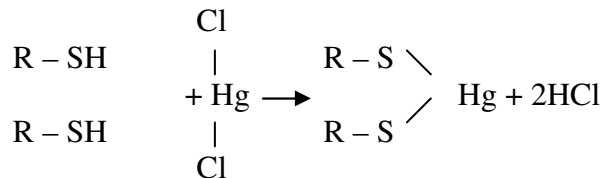
la síntesis normal de la pared (por ejemplo, la penicilina) pueden traer consigo la lisis de la célula.

V.2.4. Eliminación de los grupos sulfhidrilo libres

Las proteínas enzimáticas que contienen cisteína tienen cadenas laterales que terminan en grupos sulfhidrilo. Además, las coenzimas como la coenzima A y el dihidrolipoato contienen grupos sulfhidrilo libres. Tales enzimas y coenzimas no pueden funcionar a menos que los grupos sulfhidrilo permanezcan libres y reducidos. Los agentes oxidantes, por tanto, interfieren en el metabolismo al ligar los grupos sulfhidrilo vecinos para dar enlaces disulfuro:



Muchos metales, como el ion mercuríco, también interfieren por combinación con los sulfhidrilos.



Existen en la célula muchas enzimas que contienen grupos sulfhidrilo; por consiguiente, los agentes oxidantes y los metales pesados ocasionan un daño considerable.

V.2.5. Antagonismo químico

Como antagonismo químico se conoce a la interferencia de un agente químico con la reacción normal entre una enzima específica y su sustrato. El antagonismo actúa por combinación con alguna parte de la holoenzima (ya sea con la apoenzima proteínica, con el activador mineral o con la coenzima.) (La palabra sustrato, incluye casos en los que el inhibidor se combina con la apoenzima, de modo que impide la unión de la coenzima con ella.)

Un antagonista se combina con una enzima por afinidad química respecto a un sitio esencial de esta enzima. Las enzimas efectúan su actividad catalítica en virtud de su afinidad por sus sustratos naturales, de aquí que un compuesto que estructuralmente semeja a un sustrato en sus aspectos esenciales, pueda tener afinidad con la enzima. Si esta afinidad es lo suficientemente grande, el análogo desplaza al sustrato normal de la enzima e impide que tenga lugar la reacción adecuada.

Muchas holoenzimas contienen un ion mineral que actúa como un puente, ya sea entre la enzima y la coenzima, o entre la enzima y el sustrato. Las sustancias químicas que se combinan fácilmente con estos minerales impiden la unión de la coenzima o del sustrato, por ejemplo, el monóxido de carbono y el cianuro se combinan con el átomo de hierro de las enzimas que contienen porfina e impiden su función en la respiración.

Los antagonistas químicos pueden ser convenientemente descritos en dos grupos: antagonistas de los procesos productores de energía, y antagonistas de los procesos biosintéticos. Los primeros incluyen venenos de las enzimas respiratorias (monóxido de carbono, cianuro) y de la fosforilación oxidativa (dinitrofenol); los segundos incluyen análogos de los precursores que forman las proteínas (aminoácidos) y de los ácidos nucleicos (nucleótidos.) En algunos casos el análogo simplemente evita la incorporación del metabolito normal (por ejemplo, el 5-metilriptófano evita la incorporación del triptófano a la proteína) y en otros casos el análogo reemplaza al metabolito normal en la macromolécula para impedir su funcionamiento. La incorporación de la p-fluorofenilalanina a la proteína en lugar de la fenilalanina, es un ejemplo del último tipo de antagonismo.

V.3. Mecanismos de desinfección

V.3.1. Químicos

V.3.1.1. Halógenos

Los halógenos libres flúor, cloro, bromo, yodo, son todos agentes oxidantes, con poder decreciente al aumentar el peso atómico. Así el flúor es el oxidante más potente y el yodo el más débil; sin embargo, esto no está relacionado directamente con la eficiencia germicida. El mecanismo de desinfección de los halógenos, no siempre se basa en el ataque oxidativo, usualmente son más importantes las acciones antimetabólicas. Otro aspecto importante es la facilidad que tiene el desinfectante para atravesar la membrana celular. Así finalmente se puede concluir que las propiedades germicidas aumentan con el peso atómico dentro de la serie de los halógenos, debido a que estas no dependen exclusivamente del poder oxidativo.

Cloro

El cloro elemental $-\text{Cl}_2-$ fue descubierto por el químico sueco Karl Wilhem Scheele. A temperaturas y presiones ordinarias el cloro es un gas amarillo verdoso, que produce inflamación de las membranas mucosas al inhalarlo, y es muy tóxico. El cloro elemental reacciona con la mayoría de los elementos y compuestos, principalmente los orgánicos. Es explosivo al contacto con algunos compuestos y elementos químicos. El cloro puede almacenarse con seguridad en cilindros de acero, pero en presencia de humedad es altamente corrosivo para los metales.

Tabla V.7. Propiedades del cloro

Propiedades

- Segundo miembro de la séptima columna de la tabla periódica.
- Símbolo: Cl
- Tiene una capa de siete electrones rodeando a su núcleo. Tiende a adquirir un electrón más para completar ocho electrones en su última capa.
- Es un poderoso agente oxidante, que reacciona con la mayoría de los elementos y compuestos, principalmente con materiales orgánicos.
- 2.49 es su peso específico con respecto al aire.
- 1.57 g/cm^3 es su peso específico en su fase líquida.
- Su solubilidad en el agua es de 7,300 mg/l a 20°C y 1 atm.
- Disolución saturada de cloro forma un sólido con ocho moléculas de agua llamada hielo de cloro ($\text{Cl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) a una temperatura de 9.56°C o inferior, por lo que el agua a ser desinfectada debe tener una temperatura entre 10 y 26.6°C.
- 143.5° C es su temperatura crítica.
- 573 g/l es su densidad crítica.

Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

Los atributos más importantes del cloro son su potencia y persistencia germicida de amplio espectro en los sistemas de distribución de agua. Los compuestos basados en cloro son los desinfectantes que presentan mejores propiedades residuales. Dicha protección residual es muy importante ya que previene un nuevo crecimiento microbiano y la recontaminación del agua una vez que ha salido de la planta de tratamiento.

La popularidad del cloro en la desinfección de agua se basa en diversas propiedades como son:

- **Germicida potente.** El uso del cloro reduce la cantidad de microorganismos en el agua que causan enfermedades a niveles casi imposibles de medir.
- **Cualidades residuales.** El cloro produce una acción sostenida de desinfección residual. La presencia de un residuo de cloro mantiene la higiene del agua al viajar de la planta de tratamiento a la toma del consumidor.
- **Control del gusto y olores.** La cloración del agua potable reduce los gustos y olores debido a que el cloro oxida muchas sustancias que se presentan naturalmente, como las secreciones de algunas algas y la vegetación en putrefacción, lo que da como resultado agua potable sin olor y con mejor sabor.
- **Control de crecimiento biológico.** La acción germicida del cloro elimina las bacterias, moho y algas de limo. El cloro controla estos organismos molestos que por lo general crecen en reservorios, paredes de cañerías de transmisión de agua y tanques de almacenamiento.
- **Control químico.** El cloro destruye el sulfuro de hidrógeno, y se combina con el amoníaco y otros compuestos nitrogenados que tienen sabores desagradables además de que obstaculizan la desinfección.

Alimentación del cloro

El cloro gaseoso obtenido por evaporación del cloro líquido, puede aplicarse por medio de dos métodos.

1. Adición directa a presión por medio de difusores.
2. Alimentación al vacío, en la cual una pequeña parte del caudal de agua se satura con cloro y después se mezcla con el resto. Este método reduce el riesgo de escapes debido al vacío empleado.

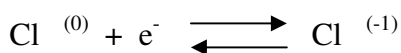
Manejo seguro del cloro

El cloro presenta ciertos riesgos al manejarse en forma concentrada, ya sea líquida o gaseosa, estos peligros pueden derivarse de:

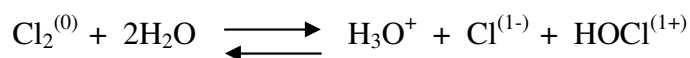
- La toxicidad del gas.
- Su elevada reactividad.
- El peligro de fuego o explosiones.
- Corrosión.
- Elevadas presiones de almacenaje.

Química del cloro acuoso

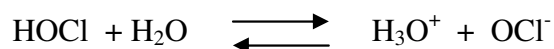
El cloro elemental, tiene una fuerte tendencia a reducirse desde su estado de oxidación cero, al estado de oxidación -1 , que corresponde a la máxima estabilidad o menor energía de la estructura electrónica del gas argón:



Los siete electrones de valencia del cloro, pueden dar lugar a otros estados de oxidación, como resultado de la donación electrónica de este elemento. Los estados de oxidación según su orden de importancia son. $V+$, $VII+$, $I+$ y $III+$. En disolución acuosa el cloro elemental $-\text{Cl}_2-$ se separa en los iones Cl^- y Cl^+ , que son más estables.



Para el proceso de desinfección, es importante el comportamiento químico del ácido hipocloroso $-\text{OCl}-$ formado por la hidrólisis del cloro. El ácido hipocloroso es un ácido débil formado por protólisis:



Debido a que la molécula de ClOH es un mejor desinfectante que el ión hipoclorito, la distribución relativa de estas especies según el pH es de interés práctico.

Desde el punto de vista operacional, el cloro elemental, el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito constituyen el “cloro disponible libre”, las cloraminas y compuestos similares constituyen el “cloro disponible combinado”.

Demanda de cloro

Cantidad de cloro que consumen las sustancias reductoras orgánicas e inorgánicas, y que es igual a la cantidad que se agrega, menos la que permanece como cloro residual después de un periodo de contacto seleccionado, que generalmente es de 10 min para el agua potable. El cloro residual realiza la desinfección, y se expresa en mg/l o ppm.

Cloración de ruptura

A la curva de la figura V.10. se le denomina de ruptura, y es muy similar a la obtenida al añadir incrementos acumulativos de cloro al agua, y medir el cloro después de un periodo de tiempo suficiente, por ejemplo 30 minutos. La forma de la curva de ruptura depende de la manera en que reaccione el cloro con el amoníaco.

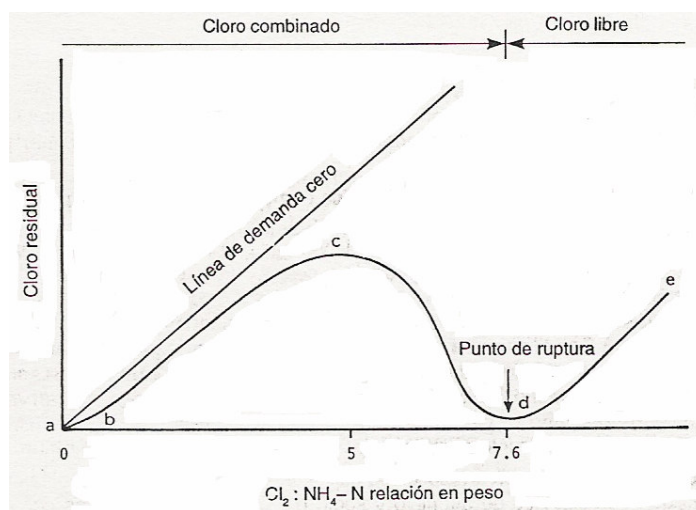


Fig. V.10. Curva de ruptura.

Fuente:GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

Entre los puntos A y B se forman mono y dicloraminas, siendo la cantidad relativa entre ellas una función del pH. El pico en el punto B se presenta para una proporción uno a uno molar entre el Cl_2 y el NH_3 . Entre los puntos B y C la concentración residual del cloro disminuye. El punto C, llamado *punto de ruptura* corresponde a una proporción dos a uno molar entre el Cl_2 y el NH_3 . Una posterior adición de cloro proporciona el cloro libre residual.

Cloro residual

- Cloro residual combinado: compuestos clorados de materia orgánica, amoníaco y compuestos nitrogenados.
 - Monocloramina (NH_2Cl): cloro disponible combinado.
 - Dicloramina (NHCl_2): cloro disponible.
 - Tricloruro de nitrógeno (NCl_3): no se forma en cantidades significativas dentro de pH normales, excepto cercano al punto de quiebre.
- Cloro residual libre: cloro libre.
 - Ácido hipocloroso (HOCl): cloro disponible libre.
 - Ión hipoclorito (OCl^-): cloro disponible libre.
 - Cloro elemental (Cl_2): Momentáneamente a pH normales.
- Cloro residual total: cloro residual combinado y libre.
- Cloraminas orgánicas complejas.

El principal objetivo de la cloración a punto de ruptura, es el asegurar primeramente la demanda de cloro del agua y dejar un restante para la desinfección de los microorganismos. La demanda de cloro en el agua puede ser ejercida por diversas sustancias como:

- Fenoles
- Aminoácidos
- Hidratos de carbono
- Proteínas
- SH_2
- Mn^{2+}
- Fe^{2+}
- NH_3

Cloración residual libre

Es cuando se agrega cloro más allá del punto de ruptura, esto trae beneficios dentro de la planta de tratamiento como, minimizar el crecimiento de microorganismos y lodos en los filtros de arena y las cámaras de sedimentación; también facilita la oxidación y eliminación de agentes inorgánicos reductores.

Cloración residual combinada o cloraminación

Se aplica después de la desinfección. El cloro residual combinado con el amoníaco formando cloraminas, es menos reactivo que el cloro libre, por lo tanto persiste durante más tiempo en el agua. Las cloraminas se utilizan en el tratamiento para controlar las algas, el crecimiento bacterial, para reducir los problemas de oxidación en los sistemas de distribución, y para brindar protección contra la recontaminación. Las cloraminas tienen también la ventaja de no provocar malos olores.

Para la cloraminación del agua, se le agrega cloro con el fin de que interactúe con el amoníaco que ya contiene, y forme cloraminas. En caso de que el agua a tratar contenga poco o nada de amoníaco, este se agrega junto con el cloro.

Declaración

El exceso de cloro puede deberse a una sobredosis accidental, o a por la adición intencional de grandes cantidades de cloro al agua para acelerar su desinfección. El exceso de cloro sobre la concentración residual de cloro libre -0.2 a 1ppm puede eliminarse por reducción química, por paso por medios carbonosos o por aireación a pH adecuado. La aireación es el método menos efectivo al aumentar el pH debido a que el hipoclorito no volátil predomina en el agua.

Los agentes reductores más empleados son el anhídrido sulfuroso $-\text{SO}_2-$, el bisulfito sódico $-\text{SO}_3\text{HNa}-$, el sulfito sódico $-\text{SO}_3\text{Na}_2-$, el tiosulfato sódico $-\text{S}_2\text{O}_3\text{Na}_2-$.

Cloro disponible

Debido a la variedad de compuestos clorados utilizados en la desinfección del agua, se establece una base común para comparar el contenido relativo de un ingrediente activo, medido como cloro disponible. Como la reducción del cloro y la mayor parte de sus derivados da en último término ión cloruro, la cantidad de cloro dentro de compuesto, que tenga un estado de oxidación mayor que el ión cloruro $1-$ se refiere como activa o cloro disponible.

El cloro libre es tóxico para la mayoría de las bacterias patógenas. Se le llama cloro libre al cloro molecular $-\text{Cl}_2-$ gaseoso en condiciones normales y a sus derivados, como el ácido hipocloroso $-\text{HOCl}-$ y el ión hipoclorito $-\text{OCl}^-$. El cloro libre en estas formas, tiene una tendencia a ganar electrones, para obtener el estado de oxidación -1 , como el del cloruro, que es más estable. En esta reacción, el cloro actúa como agente oxidante, y en su estado basal no es muy reactivo. Muchas de las propiedades reactivas del cloro libre, se deben a su gran tendencia a regresar a su estado basal.

El nivel de reactividad, su poder oxidante, y por ende su capacidad desinfectante, varía con respecto a la cantidad de cloro libre, y a la proporción de sus diferentes especies en el agua.

Las formas comerciales de cloro libre son:

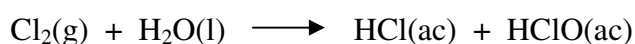
- Cloro gaseoso $-\text{Cl}_2-$.
- Hipoclorito de sodio, líquido.
- Hipocloritos granulares.

El cloro gaseoso es presurizado hasta su forma líquida, para poder manejarlo por medio de tanques. En los equipos de dosificación, el cloro regresa a su forma gaseosa.

El hipoclorito de sodio, es posible encontrarlo comercialmente, como equivalente de 12 a 16 % de cloro. La selección de la concentración de la solución es importante, debido a que ésta afecta el punto de congelación, por ejemplo para una concentración de 18% el congelamiento ocurre a 6.6° C, mientras que para una concentración de 10% será a 12.2°C

El cloro se utiliza para eliminar organismos patógenos, y garantizar una concentración residual en el sistema de distribución, que pueda combatir los microorganismos, en caso de recontaminación.

Cuando el cloro se disuelve en agua, se produce la siguiente reacción:



Se cree que los iones ClO^- destruyen las bacterias por oxidación de compuestos que son vitales para ellas

El cloro elemental $-\text{Cl}_2-$ con un estado de oxidación cero y no conteniendo material inerte, se define como 100 % cloro disponible.

Para calcular el porcentaje de cloro disponible de un compuesto distinto del cloro elemental, debe establecerse el estado de oxidación del cloro dentro de este compuesto.

El método normalmente utilizado para medir el contenido de cloro activo, es la oxidación del yoduro potásico en medio ácido. Debe tenerse en cuenta que para condiciones diferentes a las del experimento, la misma cantidad de cloro puede no ser suficiente para la oxidación. Por ello al igual que el potencial de oxidación, el cloro disponible no es un indicador preciso de la eficacia de la desinfección.

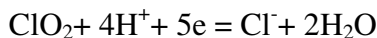
Tabla V.8. Cloro actual y disponible en compuestos puros que contengan cloro

Compuesto	Cloro equivalente (moles de Cl_2)	Cloro actual (%)	Cloro disponible (%)
Cl_2	1	100	100
Cl_2O	2	81.7	163.4
ClO_2	2.5	52.5	260
NaOCl	1	47.7	95.4
CaClOCl	1	56	56
$\text{Ca}(\text{OCl})_2$	2	49.6	99.2
NaClO_2	2	39.2	157
HOCl	1	67.7	135.4
NHCl_2	2	82.5	165
NH_2Cl	1	69	138

Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

Dióxido de cloro

El dióxido de cloro es un gas de color verde amarillento y su peso molecular es de 67.46. Es estable y sumamente soluble en soluciones acuosas de hasta 20 g/l. Además de sus propiedades biocidas, el dióxido de cloro mejora la calidad del agua potable, es decir, neutraliza olores, remueve el color y oxida hierro y manganeso. Una de las propiedades más interesantes del dióxido de cloro es su eficacia biocida en un amplio intervalo de pH (3 a 9). El dióxido de cloro es sensible a la luz ultravioleta (Junli y otros, 1997) y presenta mayor capacidad de oxidación cuando hay mayor acidez.



Debido a que el dióxido de cloro existe como un gas inestable, el producto no puede comprimirse ni distribuirse en cilindros como el cloro gaseoso. El dióxido de cloro debe producirse in situ mediante el uso de un generador mecánico. Comúnmente se genera por reacción del clorito de sodio con cloro gaseoso (sistema de 2 compuestos químicos) o por reacción del clorito de sodio con hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico (sistema de 3 compuestos químicos).

El dióxido de cloro es muy útil para el tratamiento del agua potable. Si bien los desinfectantes de cloro reaccionan con diversas sustancias a través de la oxidación y sustitución electrofílica, el dióxido de cloro sólo reacciona por oxidación (Aieta y Berg, 1986). Como resultado, el uso de dióxido de cloro puede disminuir la formación de THM en el agua tratada.

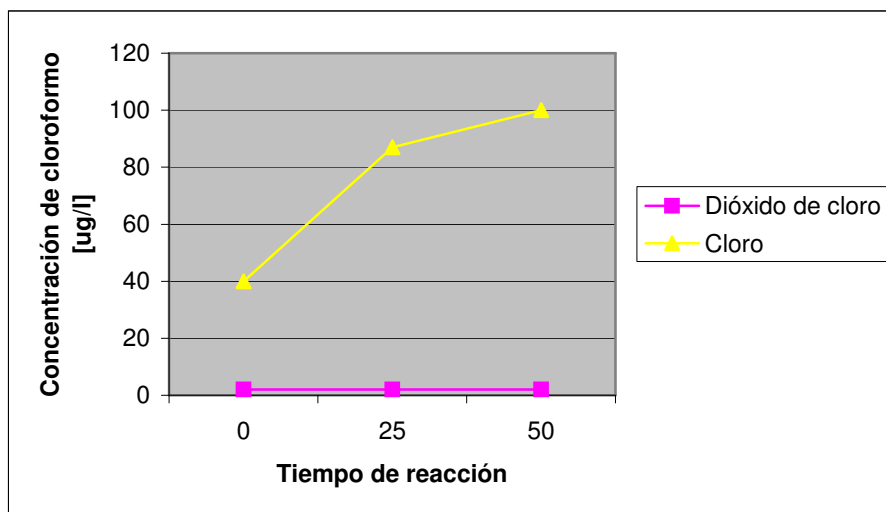
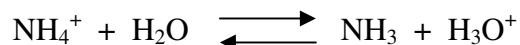


Figura V.11. Producción de cloroformo por el cloro y dióxido de cloro en agua con 5 mg/l de ácido húmico (Symons, 1981).

Cloraminas

El amoníaco está presente en trazas en el agua potable; sin embargo, en agua con demanda de cloro relativamente alta, este compuesto en ocasiones se añade directamente en el agua, antes durante o después de la cloración, con el fin de obtener un cloro residual más estable. Según el pH el amoníaco puede estar presente como NH_3 , o NH_4OH o como el ión amonio $-\text{NH}_4-$



El ión amonio es la especie prevalente en la mayoría de las aguas naturales, suministros de agua y aguas de baño. El cloro reacciona con el amonio formando cloraminas, como por ejemplo la monocloramina $-\text{ClNH}_2-$

Tabla V.9. Tipos de cloraminas y reacciones por la que se forman en el agua

Tipo de cloramina	Reacción
Monocloramina ClNH_2	$\text{NH}_3 + \text{HOCl} \rightleftharpoons \text{ClNH}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Dicloramina NHCl_2	$\text{NH}_3 + 2\text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NHCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
	$\text{NH}_2\text{Cl} + \text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NHCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Tricloramina o tricloruro de nitrógeno NCl_3	$\text{NH}_3 + 3\text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
	$\text{NH}_2\text{Cl} + 2\text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NCl}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
	$\text{NHCl}_2 + \text{HOCl} \rightleftharpoons \text{NCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Fuente: GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

Las velocidades de formación de cloraminas y la proporción de ClNH_2 y Cl_2NH producidos depende principalmente del pH, y de la proporción de reactivos $-\text{OHCl}$ y NH_3- empleados, para una temperatura y constante de equilibrio fija. Se ha sugerido que la distribución de cloraminas está gobernada por el equilibrio.

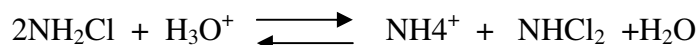


Tabla V.10. porcentaje de monocloramina y dicloramina
En función del pH para una temperatura de 25°C y $k=6.7 \times 10^5$

PH	NH ₂ Cl [%]	NHCl ₂ [%]
5	16	84
6	38	62
7	65	35
8	85	15
9	94	6

Fuente:GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

Flúor

En el año de 1939 se estableció que los fluoruros en el agua para consumo humano producían un cambio en el esmalte de los dientes que los hacía más resistentes a las caries.

El elemento flúor no se adiciona solo al agua, sino combinado formando fluoruros, que no son tan reactivos.

Los fluoruros generalmente se dosifican en su fase líquida; dependiendo de los demás tratamientos que reciba el agua se define el momento de la aplicación.

El manejo de los fluoruros debe hacerse con precaución ya que son tóxicos al ingerirse o inhalarse.

Para dosis controladas de fluoruros como las que se presentan en los sistemas de distribución de agua para consumo humano el agua no incrementa su corrosividad, pero para dosis concentradas como las que aplican los equipos dosificadores si lo ocasiona. Por ello estos equipos son manufacturados con acero inoxidable o plástico.

No existe evidencia de que la fluoración del agua ocasione efectos negativos a la salud humano.

Bromo

El bromo es un líquido denso de peso específico 2.94, de color pardo rojizo, el cual se solidifica a -7.3°C , y hierve a 58.78°C , se disuelve bien en el agua. El bromo es más caro que el cloro por unidad de peso. El manejo del bromo es un poco más sencillo que el del cloro. La fuerza oxidante y penetración celular del bromo es intermedia, entre el cloro y el yodo.

El bromo tiene una fuerte tendencia a producir compuestos irreversibles con la materia orgánica, por lo que las demandas de bromo en el agua son altas, y aún peor es que algunos de estos compuestos tienen efectos fisiológicos desconocidos. Esto y los costos asociados son los factores que desechan al bromo como alternativa para la desinfección de agua. Además, en pruebas realizadas para establecer las propiedades colicidas del bromo,

yodo y cloro, se obtuvo que para 45 ppm de yodo o bromo, se destruía el 99.995% de las bacterias, mientras que para el mismo porcentaje de eliminación bacteriana, se necesitaron solamente 8 ppm de cloro.

Yodo

El yodo es un sólido negro azulado, con un peso específico de 4.63. Es el único de los halógenos que se presenta en fase sólida a temperatura ambiente -20°C , funde a 113.6°C y hierve a 184°C . Se disuelve poco en el agua -29 mg en 100 g de agua a 20°C . Dentro de la serie de los halógenos, el yodo es el de mayor peso atómico, potencial de oxidación menor, y solubilidad en el agua más baja.

Todas las propiedades anteriormente mencionadas, son una ventaja para la desinfección con yodo, ya que éste no reacciona indiscriminadamente con la materia orgánica, y es relativamente estable en solución acuosa.

La tendencia del yodo a formar compuestos orgánicos ofensivos es menor que la del cloro, así un tratamiento con yodo después de la desinfección, proporciona una protección duradera y disminuye los olores y sabores desagradables.

Las propiedades biocidas del yodo son importantes, por ejemplo una dosis de 1.3 mg/l de I_2 elimina la *E. coli* en 30 segundos y a la *S. Fecalis* en 2 minutos.

Aunque la desinfección con yodo es más costosa, tiene ventajas sobre la cloración. El yodo no se ha utilizado para la desinfección de agua pública, pero sí para tratar el agua de las piscinas.

El yodo ocasionalmente es usado en forma de tableta, para la desinfección de agua en caso de emergencia. Tiene la ventaja sobre el cloro de destruir los quistes de ameba.

V.3.1.2. Agentes oxidantes distintos de los halógenos

Ozono

El ozono fue descubierto en el año 1,785 por Von Marum que apreció su olor característico. Hubo de pasar un tiempo para ser clasificado y en el año 1,840, Shümbein lo llamó "OZONO", nombre que proviene del griego *ozein* que significa "olor". Pero a pesar de esto, hasta 1,863 no se descubrió su verdadera naturaleza, ya que se creía que se trataba de un peróxido de hidrógeno. Ese año, Soret confirmó que se trataba de un compuesto formado por tres átomos de oxígeno.

Tabla V.11. Propiedades del ozono

Propiedades del ozono	
Fórmula molecular	O ₃
Característica principal	Gas oxidante
Peso molecular	48.0
Concentración	De hasta 18% por el peso en oxígeno
Punto de ebullición	-111.9°C
Punto de fusión	-192.7°C
Temperatura crítica	-12.1°C
Presión crítica	54.6 atmósferas
Densidad	2.14 kg/m ³ a 0°C y 1013 mbar
Densidad relativa (respecto al aire)	1.7
Solubilidad en agua	3 ppm a 20°C
Calor de formación	144.7 kJ/mol
Ángulo de enlace	116°
Potencial electroquímico	-2.07 V
Inflamabilidad	Si
Productos peligrosos de la descomposición	Ninguno

Fuente:GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.

El ozono es un gas incoloro constituido por moléculas formadas con tres átomos de oxígeno –O₃– con una carga eléctrica negativa. Se forma cuando una molécula de oxígeno común se escinde al aplicarle una energía suficiente, de tal forma que cada uno los dos átomos se unirían a una molécula de oxígeno formando dos moléculas de ozono como se ve en la figura.



Fig.V.12. Formación del ozono

El ozono es producido de forma natural por la acción de los rayos ultravioleta provenientes del sol sobre moléculas de oxígeno en la estratosfera. También se genera ozono durante las tormentas eléctricas debido a los grandes voltajes, y en las cascadas de agua. Ese olor especial de que se percibe después de una lluvia, es resultado del ozono producido de forma natural. El olor es perceptible para el humano en concentraciones entre 0.02 y 0.05 ppm, lo que es aproximadamente una centésima parte del nivel de exposición recomendado durante 15 minutos.

La radiación ultravioleta es absorbida por la molécula de oxígeno que hace esta se escinda en dos átomos de oxígeno.



Cada uno de estos átomos, se une a una molécula de oxígeno para dar otra de ozono.



Finalmente la molécula de ozono formada se destruye de nuevo absorbiendo más radiación ultravioleta.

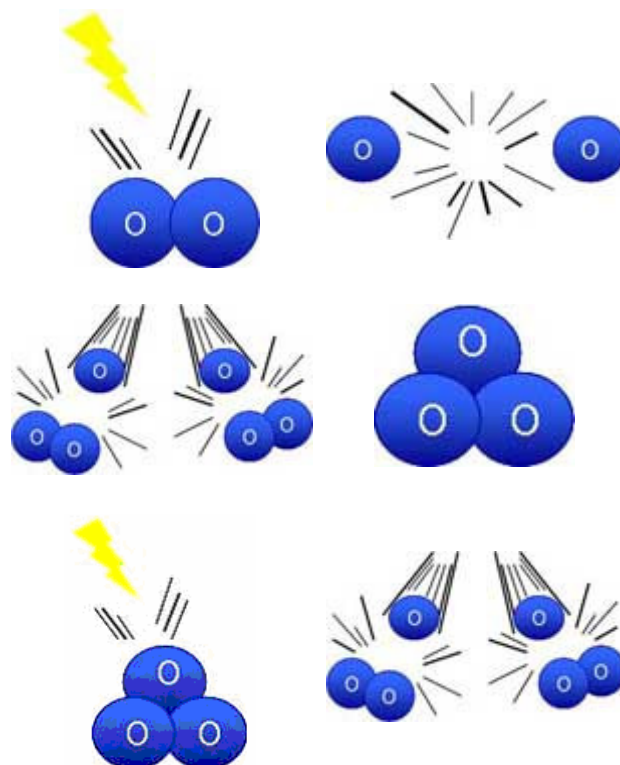
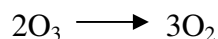


Fig.V.13. Formación del ozono por la acción de los rayos ultravioleta.

El ozono es un gas inestable que se descompone en oxígeno diatómico –O₂– a las temperaturas normales. La descomposición es acelerada por el contacto con las superficies sólidas, por el contacto con las sustancias químicas y por el efecto del calor. La molécula de ozono decae espontáneamente después de algún tiempo convirtiéndose en oxígeno, como se ve en la reacción siguiente:



Cuando la molécula de ozono –O₃– cargada electrostáticamente se pone en contacto con algo oxidable, la molécula de ozono es atraída directamente hacia allí. Posteriormente uno de los átomos de oxígeno de la molécula de ozono se une con el material oxidable, mientras que los dos átomos restantes permanecen como oxígeno molecular –O₂–, que es una molécula estable.

Debido a la elevada velocidad de reacción y a las fuertes fuerzas impulsoras de oxidación, resulta que las reacciones con las impurezas químicas compiten con el ataque a los microorganismos. La destrucción de bacterias como *E. coli*, es mucho más rápida que con cloro, si la demanda inicial de ozono está satisfecha. La destrucción del 99.99% de la *E. Coli* se presenta en menos de 100 segundos, con una concentración de 0.01ppm de ozono libre disponible.

La reactividad del ozono presenta un problema para el tratamiento del agua que contenga grandes cantidades de materia orgánica o impurezas inorgánicas oxidables. La

descomposición del ozono en el agua no permite una protección a largo plazo contra la recontaminación, obligando a efectuar una cloración después del tratamiento con ozono.

La rapidez de la desinfección con ozono, indica que la difusión del O_3 en las membranas celulares debe ser veloz. Los productos de la descomposición del ozono $-OH$ y HO_2- también pueden influenciar en el proceso de desinfección.

El ozono se puede producir artificialmente de acuerdo con el mismo principio bajo el que se produce en la naturaleza, es decir, con luz ultravioleta como en la capa de ozono, o por descarga eléctrica como en una tormenta eléctrica. La unión entre las moléculas de oxígeno se rompe por ambos métodos. Como consecuencia se producen radicales de oxígeno, que se unen con las moléculas de oxígeno formando ozono $-O_3-$. El método generalmente utilizado para la producción de ozono, es la descarga eléctrica debido al menor costo de producción, y a la mayor durabilidad del sistema. El aire común, como oxígeno puro pueden ser usados como flujo de alimentación.

Para la producción de oxígeno, se pueden usar generadores de oxígeno para concentrar el oxígeno del aire. Cuando se usa oxígeno puro se puede producir una concentración de ozono más elevada.

Para la purificación del agua, se necesita producir ozono in-situ. Debido a su corta vida media, el ozono decaerá pronto cuando sea producido. La vida media del ozono en el agua es de alrededor de 30 minutos.

El ozono $-O_3-$ es un oxidante especialmente poderoso. Las propiedades bactericidas del ozono son superiores a las del cloro, y a diferencia de este último, no dependen demasiado del pH.

Los usos del ozono en el tratamiento de agua son:

1. Desinfección y control de algas
2. Oxidación de micro-contaminantes inorgánicos
 - Hierro y manganeso
3. Oxidación de micro-contaminantes orgánicos
 - Componentes que producen color y olor
4. Oxidación de macro-contaminantes orgánicos
 - Blanqueado
 - Incrementar la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos
 - Eliminar el potencial de formación de trihalometanos $-PFTHM-$ y la demanda de cloro
5. Mejorar la coagulación

El ozono es utilizado en el tratamiento de agua con tres diferentes finalidades, como biocida (1), como oxidante (2, 3 y 4), y como pre-tratamiento para mejorar los procesos subsiguientes (5).

El ozono tiene la ventaja sobre el cloro, de ser efectivo contra los quistes y ciertas formas de virus; Además no produce olores, sabores desagradables, ni sustancias tóxicas.

Las principales desventajas del tratamiento con ozono, son el costo del equipo para efectuar la desinfección, y el no brindar protección contra la recontaminación.

Peróxido de hidrógeno

Los peróxidos, son compuestos binarios que contienen mayores proporciones de oxígeno que los óxidos simples. El peróxido de hidrogeno $-H_2O_2-$, es un líquido claro; es algo inestable, pero no tanto como el ozono.

La mayor parte de las bacterias producen peróxido en presencia de oxígeno, y como este compuesto es tóxico para las células vivas y deben destruirlo para permitir su crecimiento, la naturaleza desarrollo la enzima catalasa, que tiene la capacidad de combinarse con el peróxido, y descomponerlo en agua y oxígeno.

Los organismos capaces de producir catalasa pueden sobrevivir al peróxido mientras que su producción enzimática, sea capaz de descomponerlo. Esta particularidad de ciertas bacterias para soportar el peróxido, hacen que este compuesto no sea la mejor opción como método de desinfección.

Permanganato

El permanganato potásico se utiliza en el tratamiento de agua potable, para el control del gusto y olor, así como para eliminar los compuestos inorgánicos. El permanganato potásico $-MnO_4K-$ es un agente oxidante fuerte, y como el ozono reacciona extensivamente con la materia orgánica y ciertas especies inorgánicas presentes en el agua.

La velocidad de destrucción de la *E. Coli* es menor que la que se presenta con cloro u ozono en disoluciones comparables.

El permanganato potásico es más caro que el cloro, si se les compara por peso; sin embargo, suele utilizarse en bajas concentraciones. Tiene la ventaja como el ozono de no provocar olores y sabores desagradables, ni compuestos potencialmente tóxicos.

V.3.2. Reactivos

Metales pesados

La plata, el cobre, el mercurio, el cobalto y el níquel exhiben propiedades bactericidas. Este efecto fue observado en contenedores de plata desde la antigüedad. La plata es el metal más importante utilizado como desinfectante de todos los que comparten esta cualidad.

Las sales de mercurio, plata y cobre en concentraciones grandes, desnaturalizan a las proteínas, pero son demasiado perjudiciales para los tejidos humanos como para utilizarse de este modo. Comúnmente se usan en escasas concentraciones; en estas condiciones actúan para combinarse con los grupos sulfhidrilo.

Concentraciones del ión plata tan bajas como 15 $\mu\text{g/l}$ o 0.015ppm, bastan para destruir la mayoría de los microorganismos en un tiempo suficiente. La *E. Coli* es destruida en dos horas con una dosis de 0.5ppm.

El ión plata no comunica olor ni sabor al agua, además de no ser tóxico para el hombre en concentraciones de hasta 0.001ppm

El ión cobre se suele aplicar en forma de sulfato cúprico como algicida, en el tratamiento de abastecimientos de agua potable. El ión cúprico es muy buen bacteriostático, pero es ineficaz como bactericida y no funciona contra las esporas. Otra desventaja de este ión es su tendencia a precipitar en agua alcalinas, perdiendo así su efecto.

El mercurio destruye tanto las células bacterianas como las humanas, por ello no se utiliza en la desinfección de agua potable.

Un problema de la aplicación de metales pesados en la desinfección del agua, es su tendencia a reaccionar con la materia orgánica, disminuyendo su acción bactericida.

Ácidos y bases

No se utiliza la desinfección deliberada por medio de ácidos o bases en la práctica, sino que se presenta como parte de otros procesos como el ablandamiento por cal-sosa. Sin embargo, la eficacia de algunos desinfectantes varía en función del pH.

Tensoactivos

Los compuestos que tienen la propiedad de concentrarse en las interfases se denominan agentes tensoactivos o detergentes. La interfase entre la membrana de una célula bacteriana que contiene lípidos y el medio acuoso que la rodea atrae a una clase particular de compuestos tensoactivos, de manera específica a los que tienen un grupo liposoluble y uno hidrosoluble. Los hidrocarburos de cadena larga son muy liposolubles, mientras que los iones cargados son muy hidrosolubles; un compuesto que posea ambas estructuras se concentra, de esta manera, en la superficie de la célula bacteriana.

Se conocen dos tipos generales de tensoactivos o detergentes: aniónicos y catiónicos.

- a) Detergentes aniónicos: Los detergentes en los que el hidrocarburo de cadena larga tiene carga negativa, reciben el nombre de aniónicos.

Los detergentes sintéticos tienen ventajas en solubilidad y costo sobre los jabones naturales (obtenidos por saponificación de la grasa animal). Las sales biliares son notables por el hecho de disolver completamente a los neumococos y proporcionan así una ayuda en su identificación.

- b) Detergentes catiónicos: Puede hacerse que el residuo soluble en grasa tenga una carga positiva al combinarlo con un átomo de nitrógeno cuaternario (valencia = 5+). Dado que los detergentes se concentran en la membrana celular y en vista de que ésta es un componente celular delicado y esencial, se infiere que los detergentes actúan para desorganizar la función normal de la membrana celular. El apoyo para este último punto de vista viene de experimentos que muestran que las células expuestas a los detergentes dejan escapar compuestos solubles de nitrógeno y de fósforo hacia el medio.

Se ha observado que los agentes tensoactivos catiónicos, son efectivos en la destrucción bacterial en medios acuáticos. Este efecto se constató en hospitales y en el agua de lavado de restaurantes.

V.3. Físicos

Térmicos

La aplicación directa de energía calorífica, es uno de los métodos más antiguos y efectivos de desinfección del agua. Por ebullición se obtiene una esterilización casi total de agua. Las esporas son resistentes al calor, sin embargo, se desconocen bacterias patógenas transmisibles por el agua, que sean formadoras de esporas.

En condiciones de temperaturas excesivas aplicadas por largos periodos, el calor actúa para desnaturalizar a las proteínas y a los ácidos nucleicos de la célula y fragmentar las membranas celulares. Una temperatura de 100° C mata todas las formas bacterianas en 2 o 3 minutos, excepto a las esporas; para matar a éstas se requiere de una temperatura de 121° C durante 15 minutos.

Debido al gran volumen de agua que se requiere para el suministro de una población, este método no es económicamente factible. Sin embargo, en los casos de contaminación de agua pública, se suele recomendar que se hierva el agua antes de hacer uso de ella.

Radiación ultravioleta

Los efectos bactericidas de la luz solar intensa o la luz artificial, son debidos a la radiación ultravioleta o radiación de onda corta. La máxima acción destructiva ocurre más allá del espectro de luz visible entre 2,500 a 2,650 Amnstrongs. Las lámparas de vapor de mercurio emiten energía radiante a 2,537 Amnstrongs que se usa para aplicaciones industriales, pero este método es demasiado caro para la desinfección de agua pública.

La luz ultravioleta puede destruir una célula, retrasar su crecimiento, o cambiar su herencia genética por medio de una mutación. Debido a que las proteínas tienen una banda de absorción en la región del espectro ultravioleta, se supone que los ácidos nucleicos – ADN y ARN– de las células absorben la energía, y por ello se destruyen. Las dosis de radiación y el lugar de la célula que la recibe determina cuál de los tres efectos tendrá.

La radiación afecta de manera diferente a cada tipo de microorganismo, siendo las esporas las más resistentes. La radiación ultravioleta produce agua oxigenada en solución acuosa, lo cual puede ayudar en la destrucción celular.

La condición esencial para aplicar la luz ultravioleta, es asegurar que la energía se entregue al volumen total de agua. Aun el agua destilada a una profundidad de 3 cm absorberá, el 8 % de la energía total y 2 % se reflejará en la superficie. La turbidez las algas y el color son barreras naturales para la aplicación de la radiación ultravioleta.

La ventaja de este método, es que no se añade nada al agua, así su calidad no se altera. La principal desventaja para desinfectar suministros públicos de agua, es que no se tiene ningún efecto residual contra la recontaminación.

Radiación gamma

La radiación gamma es una radiación de longitud de onda muy corta. Se produce por cambios en la estructura atómica, siendo uno de los productos de la descomposición radioactiva.

El cobalto 60 emite rayos gamma de elevada energía –1.1 a 1.3 MeV– correspondientes a una longitud de onda de 0.01242 Amnstrongs. Los rayos gamma son un millón de veces más penetrantes que la luz ultravioleta, lo cual evidencia su capacidad penetrante mayor.

La radiación gamma produce ionización dentro de las moléculas celulares, y su posterior destrucción.

El rad –radiation absorbed dose– es la unidad en que se mide la dosis de radiación absorbida, y representa 100 erg de energía absorbida por un gramo de masa. Una dosis de 100,000 a 150,000 rad es suficiente para destruir el 99 % de los microorganismos en el agua.

Este método tiene una buena capacidad de destrucción de microorganismos, sin embargo, debido a que es caro y requiere de un cuidado especial en su aplicación, sólo se utiliza para productos de elevado valor por unidad de peso, como drogas y alimentos.

Un efecto negativo de los rayos gamma es la producción de radicales libres, átomos inestables y otras especies que pueden interactuar con las moléculas orgánicas o causar efectos en las células vivas. Una ventaja de este método, es su eficacia contra esporas.

Radiación X

Los rayos x son idénticos a los gamma, sólo los distingue su origen. La radiación x proviene del bombardeo electrónico contra un obstáculo de metal pesado colocado en un tubo de rayos x conectados a una bomba de vacío.

V.4. Ventajas y desventajas de cada método de desinfección

1: De poca importancia 2: Mediana importancia 3: Importante 4: Muy importante

Tabla V.12. Comparación de métodos de desinfección

Químicos		
Halógenos		
Métodos	Importancia	
1.- Cloro	Ventajas	
	Bajo costo.	4
	Buena calidad en la desinfección.	4
	Proporciona una protección contra la recontaminación.	4
	Desventajas	
	Su reacción con todas las sustancias reductoras ocasiona un mayor consumo de cloro.	3
	Su manejo es peligroso.	2
	Formación de THM.	3

2.-Dióxido de cloro	Ventajas	
	Efectivo contra muchos microorganismos y más potente que el cloro con un tiempo de contacto corto.	4
	Excelente como virucida.	3
	No reacciona con el nitrógeno amoniacal para formar aminas doradas.	3
	Oxidante más fuerte que contribuye a la remoción de olor, color y mal gusto.	3
	Limita o reduce la formación de trihalometanos. Destruye hasta un 30% de los precursores de los THM.	2
	Destruye los fenoles que causan problemas de mal olor y sabor.	3
	No reacciona con bromuro para formar bromato o subproductos del bromo.	3
	Mejora la remoción del hierro y manganeso por oxidación y sedimentación rápida de compuestos oxidados.	4
	Desventajas	
	Se descompone en subproductos inorgánicos como clorito y el ión clorato.	4
	Requiere equipo de generación y manejo de productos químicos in situ.	3
	Ocasionalmente causa malos olores y sabores.	3
	Es más costoso que el cloro.	4

3.- Cloraminas	Ventajas	
	Residuo persistente.	4
	Minimización de olores y sabores desagradables.	3
	Bajos niveles de formación de THM y ácido haloacético -AHA-.	3
	Desinfección eficaz de biopelículas en el sistema de distribución.	4
	Desventajas	
	Su reacción con todas las sustancias reductoras ocasiona un mayor consumo de cloro.	3
	Su manejo es peligroso.	3
	Formación de THM.	3
	Produce subproductos de la desinfección, como el hidrato de cloral y compuestos basados en nitrógeno.	3
	Hay poca información sobre la toxicidad de los subproductos que genera.	4
	Los residuos de cloramina pueden atravesar las membranas de las máquinas de diálisis, ocasionando la oxidación de los eritrocitos en la sangre.	3
	Causa irritación en los ojos.	1
	Requiere mayor dosificación que el cloro.	2
	Requiere más tiempo de contacto que el cloro.	3
	No está bien definida su eficacia como germicida viral y parasitario.	3
Puede promover el crecimiento de algas en reservorios y el aumento de bacterias en el sistema de distribución debido al amoniaco residual.	4	
Es un oxidante menos potente que el cloro.	3	

4.- Fluor	Ventajas	
	Evita que se formen hongos y elimina ciertos virus. Se utiliza como ácido fluorhídrico y fluoruros.	3
	Desventajas	
	Es un agente oxidante fuerte, por lo que oxida al agua.	3

5.- Bromo	Ventajas	
	Se disuelve bien en el agua.	3
	Oxida el amoníaco.	2
	No es necesario llevar la bromación más allá del punto de ruptura.	3
	Desventajas	
	Costo elevado	4
	Se forman compuestos irreversibles de efectos fisiológicos desconocidos cuando reacciona con la materia orgánica.	4

6.- Yodo	Ventajas	
	No reacciona indiscriminadamente con la materia orgánica.	4
	Es relativamente estable en solución acuosa.	2
	Protección contra la recontaminación más duradera.	4
	Disminuye olores y sabores ofensivos que se crean cuando el agua ha sido tratada con cloro previamente.	3
	Con la secuencia precedente el yodo oxida el amoníaco.	2
	Depende menos del pH, la temperatura, tiempo de contacto.	2
	Desventajas	
	Su disolución es baja a menos que exista el ión yoduro.	3

Agentes distintos de los halógenos.		
1.- Ozono	Ventajas	
	Es independiente del pH.	3
	Más económico que la cloración, si se cuenta con energía barata.	4
	Efectivo contra ciertos patógenos resistentes al cloro.	4
	Elimina compuestos ofensivos.	3
	No comunica olores ni sabores ofensivos.	3
	No produce sustancias tóxicas.	4
	Desventajas	
	Costo de inversión en equipo alta.	4
No proporciona protección contra la recontaminación.	4	

2.- Peróxido de hidrógeno.	Ventajas	
	Con un pH alto, su poder oxidante es mayor que el ozono.	3
	Se puede utilizar para eliminar sabores que ocasiona el cloro.	3
	Desventajas	
	Generalmente es un desinfectante pobre, excepto si se tiene un pH alto.	3
	Los tiempos de retención son de 3 a 4 horas.	3
Para concentraciones de 1.5 a 5 % se adquiere un sabor apreciable.	2	

3.- Permanganato	Ventajas	
	Es útil para controlar el sabor, olor y eliminar los compuestos inorgánicos.	3
	Sus propiedades desinfectantes son notables.	4
	Disminuye y en ocasiones elimina la necesidad de una precloración o cloración intermedia.	3
	Se emplea en bajas cantidades.	3
	No produce compuestos de sabores y olores indeseables y/o toxicidad potencial.	3
	Desventajas	
	Es más caro que el cloro.	4
	La velocidad de eliminación de Escherichia coli, es pequeña.	3

Reactivos		
Metales pesados		
1.- Plata	Ventajas	
	La exterminación de la bacteria de Escherichia coli se logra mediante concentraciones de 0.006 ya 0.5 ppm.	2
	Para exterminar la mayoría de los microorganismos se requiere de 0.015 ppm.	2
	Desventajas	
	El yodo plata tiene baja solubilidad en el agua.	3
	Si se tiene una concentración mayor a 0.001 ppm de ión plata es tóxico para el hombre y comunica sabor al agua.	4
	Los tiempos de contacto son de 24 y 2 horas para las concentraciones mencionadas en las ventajas.	4

2.- Cobre	Ventajas	
	El ión cobre es un buen alguicida.	3
	Desventajas	
	Ineficaz como bactericida y para eliminar las esporas.	4
	Tiende a precipitarse en aguas ligeramente alcalinas.	3

3.- Mercurio	Ventajas	
	Destruye los microorganismos.	3
	Desventajas	
	Destruye las células humanas.	4

Ácidos y bases	Ventajas	
	Cuando hay un diferencial en el pH se destruyen las células bacterianas.	3
	Desventajas	
	Para pH de entre 3 y 11 tienen efectos tóxicos.	4

Tensoactivos	Ventajas	
	Tiene buena destrucción bacterial.	3
	Desventajas	
	Pueden ser tóxicos para el ser humano	4

Físicos		
1.- Térmicos	Ventajas	
	Buena desinfección, y una esterilización casi completa.	4
	Desventajas	
	Costo elevado.	4
	Diferentes resistencias térmicas de los microorganismos.	1

2.- Radiación ultravioleta.	Ventajas	
	No se añade nada al agua, por lo que no cambia su calidad.	4
	No produce olores ni sabores desagradables.	3
	Mínimo mantenimiento.	3
	Control automático y sencillo.	3
	Desventajas	
	Costo elevado.	4
	No produce una protección contra la recontaminación.	4
Sustancias presentes en el agua constituyen barreras naturales a la penetración de los rayos ultravioletas.	3	

3.- Radiación X y Gamma.	Ventajas	
	Alto poder penetrante y gran capacidad para destruir la materia celular.	4
	Es eficaz en la remoción de los virus y esporas.	4
	Con una dosis de 100 a 150 rads, se destruye el 99 % de los organismos presentes en el agua.	3
	Desventajas	
	Costo elevado.	4
	Se deben tener cuidados especiales durante su aplicación.	4
En el agua se produce radiaciones libres y otras especies que pueden causar efectos secundarios en las células.	4	

Tabla V.13. Comparación de algunos desinfectantes.

Desinfectantes	Eficacia de desinfección	de Mantenimiento de residuos	Información en la química del subproducto	Remoción de colores	Remoción de olores comunes
Cloro	Bueno	Bueno	Adecuado	Bueno	Bueno
Cloraminas	Pobre	Bueno	Limitado	Inadmisible	Pobre
Dioxido de cloro	de Bueno	Inadmisible	Adecuado	Bueno	Bueno
Ozono	Excelente	Inadmisible	Limitado	Excelente	Excelente
Radiación Ultravioleta	Acertado	Inadmisible	Nulo	N/A	N/A

Fuente: Trussell, R. Rhodes, *Control Strategy 1: Alternative Oxidants and Disinfectants*. 1991.

Bibliografía:

- WHITE, C. Handbook of chlorination and alternative disinfectants. 1999. Ed. Wiley Inter Science.
- Estadísticas del agua en México. 2004. Comisión Nacional del Agua.
- RODRÍGUEZ, V. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. 2003. Ed. Díaz de Santos.
- MAIER y FRANZ J. Fluoruración del agua potable. Washington. 1971. Ed. Limusa Wiley.
- Cooperative research report. Ozone in water treatment application an engineering. 1991. Ed. Lewis Publishers.
- GRAY, N. Calidad del agua potable. España 1996. Ed. Acribia.
- Trussell, R. Rhodes, *Control Strategy 1: Alternative Oxidants and Disinfectants*. 1991.
- Jawetz, Melnick y Adelberg. Microbiología médica. Ed. Manual Moderno. 1999.
- <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/aguabas/dioxido/dioxido.html>
- http://www.c3.org/chlorine_knowledge_center/whitepapers10-98.html
- <http://www.biologia.org/?pid=5000&page=0&id=92>

VI. Consecuencias de la desinfección con cloro

VI.1. Subproductos de la desinfección

Aunque la cloración es un buen método para desinfectar el agua potable, y en consecuencia una barrera para combatir las enfermedades hídricas, el cloro es muy reactivo con los compuestos naturales presentes en el agua. El amoníaco y los compuestos húmicos que dan al agua turbia el color marrón, interfieren en el proceso de desinfección, mientras otros compuestos como los fenoles al reaccionar con el cloro le imprimen sabor y olor al agua.

Debido a la abundancia de las sustancias húmicas en las agua naturales, éstas se consideran como las principales precursoras de los subproductos de la desinfección –SPD o DBP en inglés– .

En general, la ozonización de las sustancias húmicas contribuye a disminuir el potencial de formación de subproductos de la desinfección, y en consecuencia de trihalometanos, ya que el ozono inactiva los centros activos que sufren el ataque del cloro. Sin embargo, puede darse un efecto negativo al preozonizar el agua con alto contenido del ión bromuro, ya que este al mezclarse con el ozono, forma especies bromadas que pertenecen al conjunto de los trihalometanos.

VI.2. Trihalometanos –THM–

Los trihalometanos son compuestos de un sólo carbono que tienen como fórmula general CHX_3 , donde X puede ser cualquier halógeno o una combinación de ellos –cloro, bromo, flúor o yodo–. Están considerados posibles cancerígenos, por ello son indeseables en el agua potable.

Los cuatro Trihalometanos más comunes encontrados en el agua potable son:

• Cloroformo	CHCl_3
• Bromodiclorometano	CHBrCl_2
• Dibromoclorometano	CHBr_2Cl
• Bromoformo	CHBr_3

Los trihalometanos y demás subproductos de la cloración, solamente se encuentran en aguas brutas o aguas tratadas que fueron desinfectadas con cloro.

Para una dosis dada de cloro, la reacción y por lo tanto el grado de trihalometanos formados, se incrementa a mayores concentraciones de humus, mayores temperaturas y mayor valor del pH. Donde exista cloro libre residual, continuarán formándose los trihalometanos. La relación de concentraciones de cloro a sustrato –la cantidad de cloro

añadida en relación a la cantidad de materia orgánica presente— es también un factor importante para determinar qué subproductos se forman. Por ejemplo, a bajas dosis de cloro, el fenol se convierte en clorofenoles que tienen sabor, mientras que a dosis altas de cloro estos se convierten en quinonas cloradas que no tienen sabor.

Factores que influyen sobre el potencial de formación de trihalometanos

El potencial de formación de trihalometanos –PFTHM– es un ensayo de cloración, para valorar los precursores de los trihalometanos. Se define como la concentración de THM formados a partir de una cloración en exceso, asegurando siempre la presencia de cloro residual en el agua después del periodo de tiempo elegido.

Influencia del tiempo de reacción

La formación de los THM es muy rápida durante las primeras 24 h de contacto del cloro con el agua, posteriormente comienza a declinar la rapidez de formación de THM conforme se consume el ión bromuro.

Este comportamiento puede observarse en la gráfica de tiempo contra PFTHM elaborada para el agua natural del embalse de Úzquiza – Burgos.

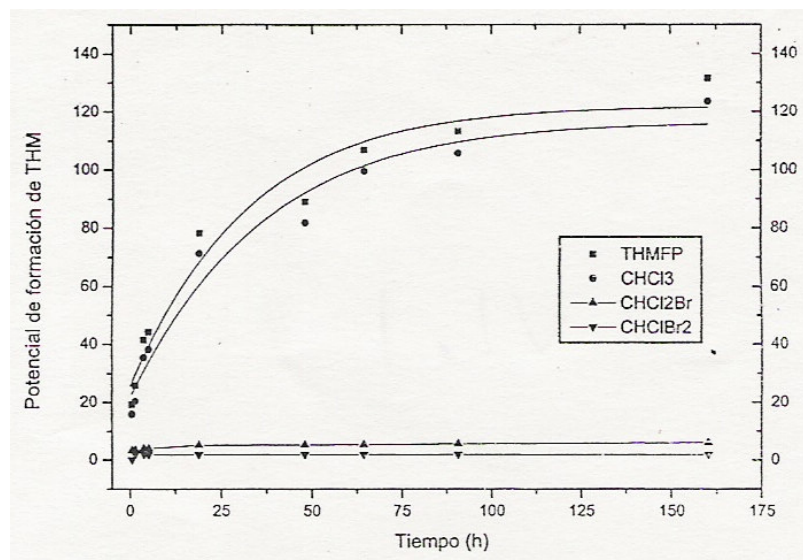


Fig. VI.1. Curva de formación de THM. Agua natural del embalse de Úzquiza TOC = 2.14 ppm.

Fuente: RODRÍGUEZ, F. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid 2003.

El tiempo de reacción puede variar dependiendo de la naturaleza de la materia orgánica del agua analizada y de las condiciones de cloración, sin embargo, en general se pueden mencionar dos etapas distinguibles entre sí, una muy rápida en la formación de THM, y otra en la que la formación reduce considerablemente la velocidad .

En la fig. VI.2. se observa la disminución rápida del cloro residual durante las primeras horas de la reacción, lo que indica el mayor consumo de cloro debido a la formación de trihalometanos durante esta etapa.

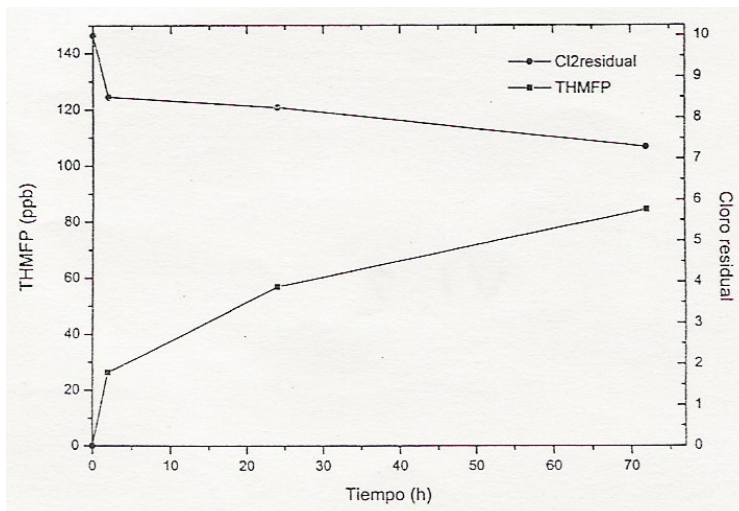


Fig. VI.2. Evolución del cloro residual y el PFTHM durante la cloración. Agua natural del embalse de Úzquiza. Fuente: RODRÍGUEZ, F. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid 2003.

Influencia del pH en la cloración.

Al aumentar el pH se incrementa el PFTHM como se observa en la fig. VI.3.

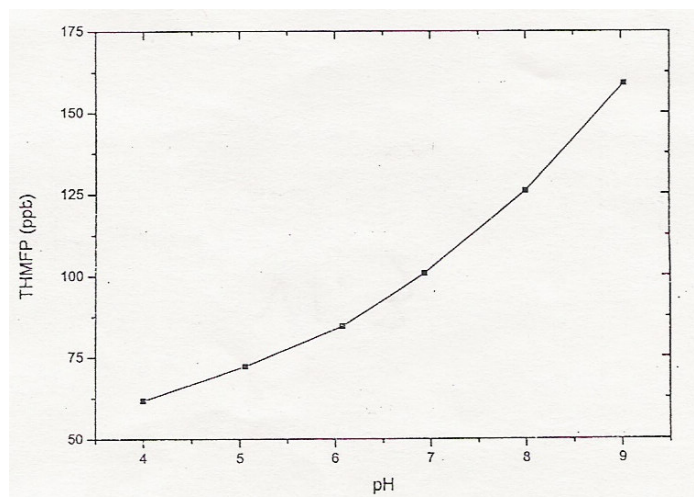


Fig. VI.3. Influencia del pH en el PFTHM en el agua natural del embalse de Úzquiza –TOC = 2.42 ppm–. Fuente: RODRÍGUEZ, F. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid 2003.

Influencia de la temperatura

El PFTHM se incrementa conforme la temperatura también lo hace, se pueden separar las diferentes especies de THM y en todas se observa el mismo efecto como se aprecia en la tabla VI.1.

Tabla VI.1. Variación del PFTHM [$\mu\text{g/l}$] con la temperatura
–TOC = 2.4 ppm.– para el embalse de Úzquiza.

Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	PFCHCl ₃	PFCHBrCl ₂	PFCHBr ₂ Cl	PFCHBr ₃	PFTHM
10.0	33.0	4.0	1.9	0.0	38.9
25.0	69.9	17.5	4.8	1.7	93.9
35.0	111.0	23.5	5.9	1.7	142.5
45.0	170.3	30.7	6.3	1.7	209.0

Fuente: RODRÍGUEZ, F. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid 2003.

Influencia de la concentración de materia orgánica

La cantidad de materia orgánica precursora es otro factor importante en el PFTHM, como se muestra en la tabla VI.2.

Tabla VI.2. Variación del PFTHM [$\mu\text{g/l}$] con la concentración TOC [mg/l].

TOC	PFCHCl ₃	PFCHCl ₂ Br	PFCHClBr ₂	PFTHM
0.2	9.0	1.4	0.0	10.4
0.5	18.9	1.9	0.0	20.8
1.0	37.3	2.8	0.0	40.1
1.5	53.0	3.6	0.0	56.6
2.0	70.9	4.6	0.0	75.5
2.5	87.2	6.0	1.4	94.6
3.0	111.0	9.5	1.8	122.3
3.5	130.6	11.9	1.8	144.3
4.0	150.2	14.1	1.9	166.2

Fuente: RODRÍGUEZ, F. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid 2003.

Las muestras de menor concentración a las del embalse, se obtienen diluyendo el agua natural, con agua ultrapura, a las más concentradas se les añaden ácidos fúlvicos, que son el contenido mayoritario del agua natural.

Influencia de la dosis de cloro

La dosis de cloro agregada al agua es otro de los factores que influyen en el PFTHM, aunque en realidad el parámetro a considerar es el cloro libre presente. Algunos componentes inorgánicos en el agua, como el ión amonio se combinan con el cloro y pueden formar diferentes tipos de cloraminas, que son compuestos menos reactivos que el cloro libre.

Tabla VI.3. Variación del PFTHM [$\mu\text{g/l}$] con respecto al cambio en la dosis de cloro $\text{TOC} = 2.1$ [mg/l] para el embalse de Uzquiza.

Dosis de cloro	PFTHM	Cloro libre residual	Cloro reaccionante
2.0	67.4	0.26	1.74
5.0	87.1	2.06	2.94
10.0	97.9	6.85	3.15
15.0	102.6	12.00	3.00
20.0	108.5	16.80	3.20
25.0	111.4	20.62	4.38

Fuente: RODRÍGUEZ, F. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid 2003.

Influencia de la concentración del ión bromuro

El bromuro es el principal parámetro que interviene en la especiación de los THM, además de influir en el PFTHM. El comportamiento de cada THM individual varía con respecto a la concentración de bromuro como se muestra en la fig. VI.4. en la que se muestran los resultados de ir agregando el ión bromuro en el agua del embalse de Úzquiza.

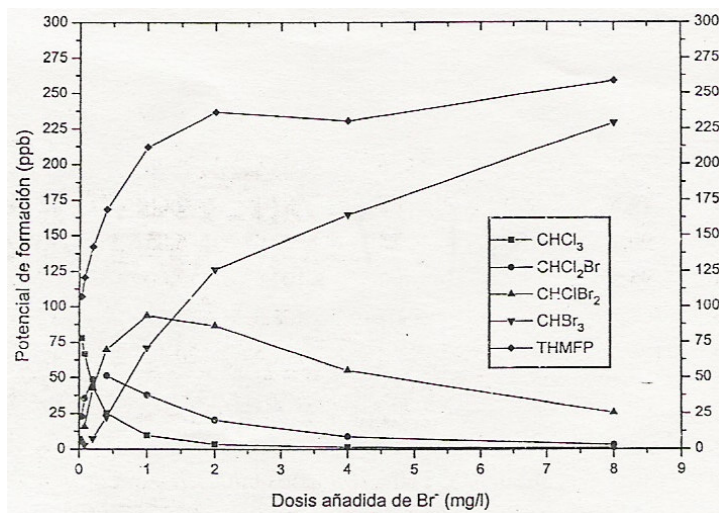


Fig. VI.4. Variación del PFTHM con la dosis añadida de Br⁻. Agua natural del embalse de Úzquiza.

Fuente: RODRÍGUEZ, F. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid 2003.

Influencia de la preozonización sobre el potencial de formación de trihalometanos

Los factores más importantes que influyen en el PFTHM en el caso de aplicar ozono antes de cloro en el agua, son el tiempo de espera entre ozonización y cloración, la dosis aplicada de ozono y la presencia de ión bromuro.

En la mayoría de la ocasiones la ozonización disminuye el PFTHM en aguas naturales, sin embargo se han documentado casos en los que el resultado es el contrario, estos casos pueden deberse debido a:

- Cuando la dosis específicas de ozono son bajas, a causa de la posible generación de nuevos centros nucleófilos precursores, que se destruyen con mayores dosis de ozono.
- Cuando la cloración se realiza a elevados valores de pH.

Influencia del tiempo de espera entre ozonización y cloración

La ozonización previa ocasiona generalmente una disminución del PFTHM, debido a la inactivación de los centros precursores de THM mediante la formación de ozónidos en dichas posiciones.

No se puede concluir que permitir un mayor tiempo entre ozonización y cloración, reduzca la formación de THM, pero tampoco lo contrario. La literatura relacionada al tema indica que algunas veces el PFTHM se aminora, mientras que en otras se eleva.

La poca coincidencia entre resultados se puede deber a que las muestras de agua tomadas en diferentes lugares, contienen distintas composiciones de materia orgánica.

VI.2.1.9. Influencia de la dosis aplicada de ozono

El PFTHM disminuye con respecto al aumento de la cantidad de ozono que se añade al agua, como se ve en la fig. VI.5.

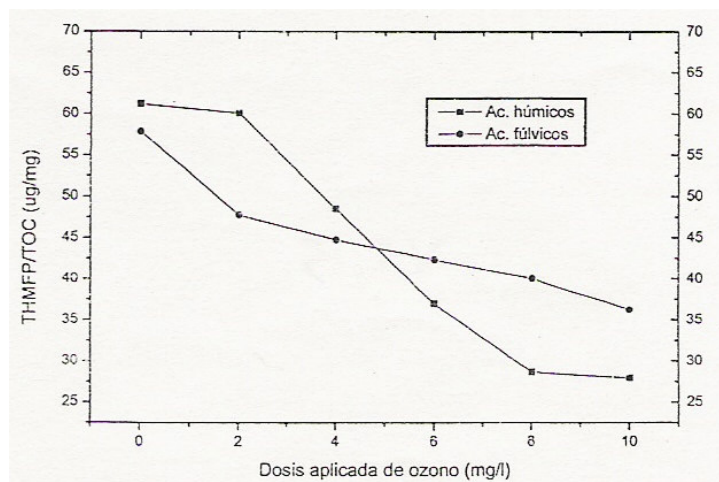


Fig. VI.5. Relación entre la dosis de ozono y la formación de THM. Agua natural del embalse de Úzquiza.
Fuente: RODRÍGUEZ, F. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid 2003.

VI.3. Riegos de la utilización del cloro

Cuando el cloro se libera al aire o en el agua, reacciona con el agua formando ácido hipocloroso y ácido clorhídrico, los que son removidos de la atmósfera por la lluvia. Los productos de la degradación del ácido clorhídrico reducen el pH del agua haciéndola más ácida.

Como el cloro generalmente se encuentra en fase gaseosa en condiciones ambientales, raramente se encuentra en el suelo. Si es liberado al suelo, reaccionará con la humedad formando ácido hipocloroso y ácido clorhídrico. Estos compuestos pueden reaccionar con otras sustancias en el suelo. El cloro no se acumula en la cadena alimentaria.

La población general no está expuesta al cloro gaseoso, pero puede estar expuesta a productos fabricados a partir del cloro, como el hipoclorito de sodio, usado como desinfectante en el agua potable y en piscinas y como blanqueador común de uso doméstico. El cloro gaseoso es usado para sintetizar otros productos químicos y para fabricar blanqueadores y desinfectantes. Por lo tanto, los trabajadores empleados en ocupaciones en las que se manufacturan o manejan estos productos pueden inhalar cloro gaseoso o experimentar contacto con la piel.

El cloro gaseoso es irritante y corrosivo para las vías respiratorias, los ojos y la piel. Los efectos dependen de la cantidad a la que se expone y de la duración de la exposición. La exposición a bajas concentraciones de cloro gaseoso (1 a 10 ppm) puede producir dolor de garganta, tos e irritación de los ojos y la piel. La exposición a niveles más altos puede producir quemaduras en los ojos y la piel, respiración rápida, estrechamiento de los bronquios, jadeo, coloración azul de la piel, acumulación de líquido en los pulmones y dolor en el área de los pulmones. La exposición a niveles aun más altos puede producir quemaduras graves en los ojos y la piel, colapso pulmonar y la muerte.

Algunas personas pueden sufrir una reacción inflamatoria al cloro. Esta condición es conocida como síndrome de malfuncionamiento reactivo de las vías respiratorias (RADS, por las siglas en inglés), que es un tipo de asma causado por ciertas sustancias irritantes o corrosivas.

El cloro líquido produce congelamiento al contacto con la piel. La ingestión accidental de un producto que contenga hipoclorito de sodio, puede producir cloro gaseoso corrosivo en el estómago y causar graves lesiones corrosivas.

El volumen del cloro acuoso se incrementa rápidamente al subir la temperatura, es por ello que hay que vigilar la temperatura de los contenedores con este líquido. Los tanques se deben llenar a un peso ya determinado por el fabricante a una temperatura de 15.5°C para que en el interior exista un 15 % de gas.

Ni el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ni la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ni la *EPA* han clasificado al cloro en cuanto a su carcinogenicidad. No hay ninguna información adicional para determinar si la exposición al cloro produce cáncer.

La *EPA* ha establecido un límite para cloro en el agua potable de 4 miligramos de cloro por litro de agua potable (4 mg/L) y también recomienda que los niveles de cloro en lagos y arroyos se limiten a 10 mg/L para prevenir posibles efectos a la salud al beber agua o comer pescado contaminado con esta sustancia.

Otros riesgos de la utilización del cloro son las posibles fugas tanto de líquido como de gas, usualmente se producen por mal funcionamiento de los equipos dosificadores, desgaste de las válvulas, maniobras de ajuste, así como también en los vehículos que transportan el líquido.

Un estudio de los últimos 50 años en Estados Unidos indica que las once principales causas de accidentes, listadas en orden de importancia son:

1. Fuego
2. Falla de conexiones flexibles
3. Corrosión de fusibles
4. Accidentes causados por ignorancia y falta de cuidado
5. Falla de válvulas
6. Falla de empaques
7. Falla de tuberías
8. Falla del equipo
9. Daño a los contenedores por impacto
10. Falla de los contenedores
11. Falla en los medidores de presión de cloro

Algunas recomendación que se pueden hacer al personal que maneje cloro son:

1. Instalar detectores de fugas en lugares adecuados
2. Asegurarse de capacitar al personal que tenga contacto con el cloro
3. Colocar aparatos para respirar en lugares donde exista la posibilidad de una fuga de cloro gaseoso
4. Determinar la dirección del viento y la posible trayectoria del gas en caso de una fuga
5. No almacenar materiales inflamables cerca de depósitos de cloro
6. No aplicar calor directamente a un contenedor de cloro
7. Tener una toma de agua cerca de los depósitos de cloro para enfriarlo de ser necesario, y para lavarse en caso de que alguien tenga contacto con el líquido
8. Determinar el lugar de la fuga
9. Si la fuga es en un contenedor se debe utilizar un kit de emergencia
10. Si la fuga es en los aparatos de control o en la tubería de abastecimiento, dos personas con equipo para respirar deben cerrar la conexión a los contenedores
11. Una persona que ha sido expuesta al cloro gaseoso y portaba una máscara para respirar, se le debe retirar la ropa y bañarlo con agua sin retirarle la máscara hasta encontrarse en un lugar abierto y ventilado, debido a que la ropa absorbe el gas
12. Rocíar agua de forma insuficiente sobre una fuga de cloro ocasiona una aceleración en la velocidad de corrosión provocando un mayor daño
13. Nunca se debe intentar vaciar cloro gaseoso directamente a un cuerpo de agua, ya que no es muy soluble
14. A las fugas de cloro se les debe atender inmediatamente
15. Se debe estar en alerta al entrar en lugares en los que se maneje cloro
16. Vigilar las corrientes de aire, ya que el cloro gaseoso es fácilmente acarreado por ellas
17. proporcionar los primeros auxilios a quien lo necesite
18. Si a un transporte de cloro se encuentra desarrollando una fuga, se debe intentar llegar al lugar de descarga si es que el quipo de emergencia no ha llegado

Bibliografía

- WHITE, C. Handbook of chlorination and alternative desinfectants. 1999. Ed. Wiley Inter Science.
- RODRÍGUEZ, F. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Madrid 2003.
- http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts172.html.

VII. Estado del arte de la desinfección del agua en países desarrollados

Desde hace décadas, el cloro ha sido un desinfectante muy importante y ha jugado un papel esencial en el tratamiento del agua. El cloro es el agente desinfectante más extendido y usado a nivel mundial. La ventaja del cloro es que se produce fácilmente y es relativamente barato. El cloro mata patógenos de manera efectiva. Inclusive a veces se aplican tabletas de cloro para la desinfección de agua en lugares donde no hay acceso a técnicas de tratamiento.

Los productos químicos basados en cloro han sido los desinfectantes preferidos para tratar el agua potable durante casi un siglo. El 98.62 % de los sistemas encargados de desinfectar el agua en los Estados Unidos en 1990, empleaban compuestos basados en cloro. Esto se debe a que el cloro ha resultado sumamente bueno, ya que es seguro de usar cuando se maneja adecuadamente, además de ser económico. Más de 200 millones de estadounidenses y canadienses reciben agua potable desinfectada con cloro cada día.

Tabla VII.1. Prácticas de desinfección en los Estados Unidos

Desinfectante	Porcentaje*
• Gas cloro	87.00
• Ningún amoníaco	67.00
• Amoníaco agregado	20.00
• Cloro e hipoclorito	4.50
• Cloro y dióxido de cloro	3.00
• Cloro y dióxido de cloro, y nitrógeno amoniacal	1.50
• Hipoclorito	1.50
• Cloro e hipoclorito, y nitrógeno amoniacal	0.75
• Cloro, dióxido de cloro e hipoclorito	0.37
Total de desinfectantes basados en el cloro	98.62
• Ozono	0.37
• Otros	0.75

*porcentaje de instalaciones de desinfección del agua

Fuente: Encuesta sobre las Prácticas de Desinfección realizada por el Comité de Desinfección de la AWWA 1989-1990. http://www.c3.org/chlorine_knowledge_center/whitepapers10-98.html y <http://www.biologia.org/?pid=5000&page=0&id=92>

Dado el menor poder oxidante y desinfectante del cloro residual combinado, se suele emplear éste para una desinfección secundaria, después de aplicar la técnica de la cloración libre dentro del proceso de tratamiento hasta la etapa de filtración y a continuación, tras la filtración, se aplica amoníaco y más cloro si es necesario, para lograr la concentración de cloro combinado –cloramina deseado–, es decir, que después de destruir las cloraminas que pudieran haberse formado con el amoníaco o sustancias orgánicas nitrogenadas presentes en el agua cruda y satisfacer la demanda de cloro de esta

agua, quede aún cloro residual libre –cloración con cloro sobrante– que será transformado en cloro combinado al incorporar amoníaco.

En los Estados Unidos, cuando el dióxido de cloro se usa como desinfectante primario, el cloro se aplica como desinfectante secundario para asegurar protección microbiana adicional en el sistema de distribución

No obstante, desde que se descubrió que los subproductos de la desinfección con cloro pueden ser perjudiciales a la salud, se han extendido otras formas de desinfección del agua para consumo humano. Por ejemplo el ozono, que no obstante es aún de uso limitado en Estados Unidos, se ha generado un creciente interés por este método de desinfección del agua.

Hasta 1990 solamente había alrededor de 40 plantas que utilizaban ozono para tratar el agua, no obstante la que se encuentra en Los Ángeles es la tercera más grande a nivel mundial. Actualmente se están construyendo otras veinte plantas ozonificadoras en ese país. En E.U. y Cánada con la excepción de Québec, el ozono se utiliza solamente como desinfectante primario para minimizar la formación de subproductos generados por el cloro, además de los olores y sabores desagradables como se puede ver en la figura VIII.1.

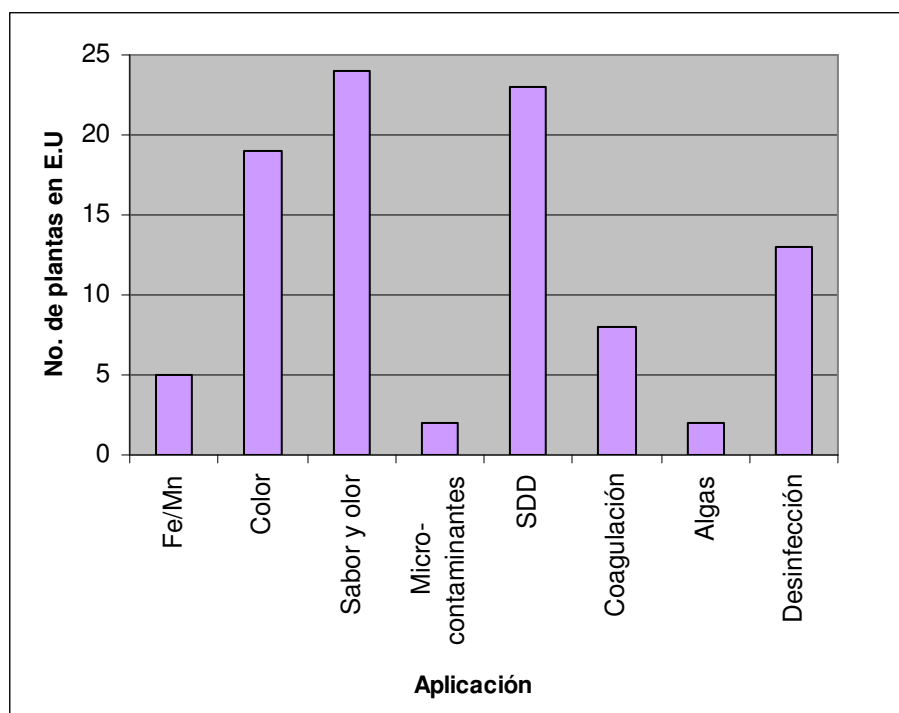


Fig. VII.1. Uso del ozono en las plantas de tratamiento de agua de E.U.

Fuente: Cooperative research report. Ozone in water treatment application an engineering. 1991. Ed. Lewis Publishers.

En Cánada hay 35 plantas que usan ozono para desinfectar el agua y controlar olores y sabores. La gran mayoría de estas plantas se encuentran en la provincia de Québec

como se observa en la figura VII.2. En Montreal se ubica la cuarta planta más grande del mundo.

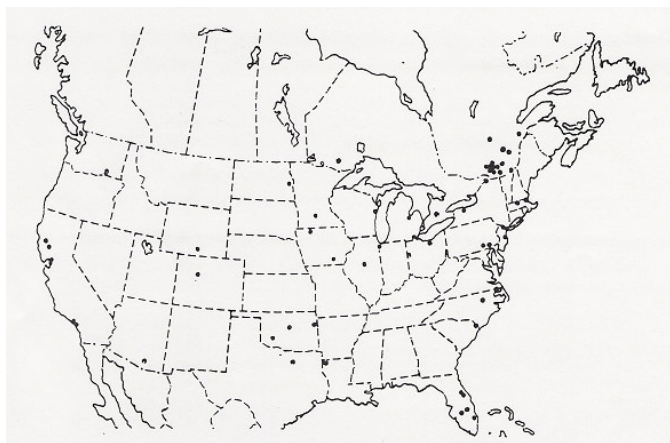


Fig. VII.2. Localización de plantas que utilizan ozono en Cánada y E.U.
Fuente: Cooperative research report. Ozone in water treatment application an engineering. 1991. Ed. Lewis Publishers.

Factores que deben considerarse al tratar el agua con el propósito de prevenir la formación de subproductos de la desinfección al utilizar compuestos con cloro:

- 1) Tratar el agua para reducir la cantidad de materia orgánica natural (MON) que sirve como precursor de los subproductos de la desinfección.
- 2) Elegir el desinfectante residual más estable ya que así será menor la cantidad de desinfectante.
- 3) Hacer una cuidadosa elección del oxidante/desinfectante, siguiendo los criterios de máxima estabilidad, mínima toxicidad directa y mínima formación de subproductos.

En tabla VII.1. se comparan las tres principales alternativas para el mantenimiento de un residual desde las perspectivas o criterios antes señalados; 1) Estabilidad del residual, 2) Toxicidad del residual (según límites de la USEPA), 3) Control del biopelícula y 4) Formación de subproductos.

Tabla VII.2. Comparación de las tres principales alternativas para mantener un residual en el agua

Oxidante	Estabilidad residual	Límite del residual mg/l (USEPA)	Control biopelícula	Subproductos
Cloro libre	Muy buena	4	Buena	Mala
Dióxido de cloro	Buena	0.8	Buena	Buena
Cloraminas	Excelente	4	Muy buena	Muy buena

Fuente: http://www.c3.org/chlorine_knowledge_center/whitepapers10-98.html y <http://www.biologia.org/?pid=5000&page=0&id=92>

De las tres sustancias indicadas, el cloro libre es el más utilizado pero su mal comportamiento en cuanto a la formación de subproductos limitará su empleo en el futuro a aguas con muy pocos precursores.

Las cloraminas y concretamente la monocloramina es una importante alternativa, siendo su principal desventaja el hecho de estar sujeta a una nitrificación en el sistema de distribución, por diferentes factores como alta temperatura, puntos muertos o retenciones excesivas donde el residual desaparece, el biopelícula se elimina con dificultad, y exceso de amoníaco.

Hay que tener presente que las cloraminas no suelen emplearse en la desinfección primaria. Son más empleadas en Estados Unidos que en Europa, donde se emplea más el dióxido de cloro que por su parte presenta problemas debidos a su propia toxicidad y a la formación de clorito y clorato que se producen como sustancias oxidadas.

En Europa, la mayoría de las compañías encargadas de desinfectar el agua para consumo humano usan cloro como desinfectante. Este se añade al agua como gas de cloro, hipoclorito de calcio o hipoclorito de sodio.

Para la desinfección de aguas superficiales, se utiliza el cloro como desinfectante primario en la mayoría de los casos. El cloro también se utiliza para la desinfección de las aguas subterráneas.

En Europa se utilizan actualmente desinfectantes alternativos para la desinfección del agua para consumo humano como se muestra en la tabla VIII.2.

Tabla VII.3. Preferencia en la aplicación de desinfectantes del agua en la Unión Europea (1998)

País	Cloro	Dióxido de cloro	Cloraminas	Ozono	UV
Austria	1	3	-	3	3
Bélgica (a)	1	3	-	3	3
Dinamarca	-	-	-	-	-
Finlandia	1	3	3	3	3
Francia	2	2	-	2	-
Alemania	1	1	-	2	3
Inglaterra	1	3	3	3	3
Grecia	1	-	-	-	-
Irlanda	1	-	-	3	-
Italia	1	1	-	3	-
Luxemburgo	-	-	-	-	-
Holanda (b)	2	2	-	1	3
Portugal	1	-	-	-	-
España	1	3	2	2	-
Suecia	1	3	2	-	-

Aplicación de desinfectantes: 1. Los mas utilizados, 2. Uso común, 3. Uso ocasional (a) Conversión de cloración a lámparas UV como desinfectante, para la desinfección de las aguas subterráneas con alto contenido en trihalometanos (b) se espera implementación de UV.

Fuente: <http://www.lenntech.com/espanol/formulario-de-consulta.htm>

Francia, por ejemplo utiliza principalmente el ozono. Italia y Alemania utilizan ozono y dióxido de cloro como oxidantes y desinfectantes primarios. Inglaterra es uno de los pocos países europeos que utilizan cloraminas como desinfectante residual en la red de distribución y para la eliminación de subproductos de la desinfección. Finlandia, España y Suecia utilizan las cloraminas para la desinfección sólo ocasionalmente.

En Europa Occidental hay plantas ozonificadoras en todos los tamaños desde 10 m³/h hasta 30,000 m³/h, y cada año se construyen 40 nuevas instalaciones con esta tecnología, sin embargo, este método de desinfección no es el principal.

Francia es el país en el que ha florecido el ozono, actualmente existen alrededor de 700 plantas que funcionan con este compuesto, las doce que se localizan alrededor de París son capaces de tratar un caudal de 3,000,000 m³, para abastecer a diez millones de personas.

En Suiza el ozono se utiliza para desinfectar el agua proveniente del subsuelo, y el agua superficial que en primavera se encuentra muy contaminada.

En el resto de Europa el uso del ozono es minoritario, sin embargo, la planta de Moscú es la más grande del mundo al utilizar 200 kg O₃/h.

En 1998 la Unión Europea lanzó la Directiva sobre agua potable 98/83/EC. Esta guía constituye el marco de referencia en relación con la demanda de agua potable en Europa. Los apéndices incluyen parámetros a considerar para la determinación de la calidad de las aguas para consumo humano. Además, los distintos países pueden añadir mayores restricciones y demandas sobre la calidad del agua.

En Asia hay muy pocas instalaciones que utilizan ozono, mientras que en América Latina esta tecnología apenas comienza a ser usada.

Bibliografía

- Cooperative research report. Ozone in water treatment application an engineering. 1991. Ed. Lewis Publishers.
- <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/aguabas/dioxido/dioxido.html>
- <http://www.lenntech.com/espanol/formulario-de-consulta.htm>
- http://www.c3.org/chlorine_knowledge_center/whitepapers10-98.html
- <http://www.biologia.org/?pid=5000&page=0&id=92>

VIII. Conclusiones

VIII.1. Aunque puede concluirse que no hay un desinfectante perfecto, el más adecuado y la cantidad a aplicar dependerá de las condiciones y circunstancias locales que al fin nos lleven a disponer de agua con el mínimo olor y sabor al desinfectante, además de una reducida o nula cantidad de subproductos derivados de él, a la vez que se consiga la mayor efectividad de desinfección.

VIII.2. El agua clorada expone al público consumidor a un riesgo potencial que no está claramente definido; los estudios caso-control han demostrado un ligero incremento en la probabilidad de contraer cáncer en la vejiga, en poblaciones que consumen agua clorada durante varios años.

VIII.3. Es ampliamente reconocido el efecto de la desinfección del agua con cloro en condiciones normales, y su aplicación es aún más necesaria en situaciones de emergencia, a fin de evitar la propagación de enfermedades gastrointestinales.

VIII.4. El nivel de riesgos a la salud humana resultante de la cloración del agua es difícil de determinar. Los estudios epidemiológicos hasta ahora realizados, no son suficientes para poder distinguir entre el peligro de contraer cáncer por la cloración versus el alto riesgo por consumo de agua contaminada con microorganismos patógenos.

VIII.5. Aún se continúa investigando la asociación entre cloración del agua y casos de cáncer en humanos. Los experimentos efectuados en animales de laboratorio presentan resultados de difícil extrapolación para evaluar el riesgo en humanos.

VIII.6. Es necesario perfeccionar las técnicas de medición de los precursores de subproductos del cloro de una manera práctica y confiable que permita la identificación de las mejores fuentes de abastecimiento de agua.

VIII.7. Hasta la fecha, el cloro es el desinfectante de agua más económico, práctico y efectivo. Otros desinfectantes como el ozono, el dióxido de cloro y la monocloramina, son utilizados en algunas comunidades; si bien éstos pueden evitar la formación de algunos subproductos de la cloración, no son capaces de mantener el mismo efecto residual del cloro.

VIII.8. Debe considerarse que no todas las aguas superficiales son aptas para su cloración directa sin tratamiento y para su uso posterior para consumo humano. Su selección depende de la demanda de cloro, pues las características del agua influyen en la formación de compuestos organoclorados que, en altas concentraciones podrían tener efectos adversos en la salud.

VIII.9. El mayor problema que se presenta en la formación de subproductos son los precursores orgánicos. La solución consiste en mejorar los procesos de tratamiento del agua para remover compuestos orgánicos antes de que los subproductos se formen. Es recomendable remover los precursores orgánicos con procesos de tratamiento como la preoxidación, tratamiento biológico y filtración lenta en arena; luego, el carbón activado biológicamente, adsorción con carbón activado y coagulación, y filtración previa a la adición de cloro. De esta forma, se incrementa la eficacia del cloro libre y paralelamente se minimiza la toxicidad al limitar la formación de subproductos.

VIII.10. Finalmente, dentro de un análisis del manejo de riesgos a la salud, en países en vías de desarrollo, con enfermedades diarreicas y parasitarias endémicas, el riesgo potencial derivado de los subproductos del cloro es significativamente menor al que se expondría la población, al suspenderse la práctica del uso de este desinfectante.

VIII.11. Es limitada la investigación científica del riesgo asociado con desinfectantes alternativos y subproductos de desinfección alternativa. La decisión de cambiar de cloración a las instalaciones de agua podría ser peligrosa porque los científicos saben muy poco acerca de los subproductos de desinfección de procesos diferentes a la cloración.

VIII.12. Es necesario capacitar al personal que esté en contacto con el cloro para que pueda manejarlo de forma segura, ya que este elemento es peligroso. También deben tomarse todas las precauciones al momento de diseñar la planta de tratamiento para evitar posibles accidentes.

IX. Anexo

01-18-96 NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".

GUSTAVO OLAIZ FERNANDEZ, Director General de Salud Ambiental, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley orgánica de la Administración Pública Federal; 3o. fracción XIV, 13 apartado A fracción I, 118 fracción II y 119 fracción II de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción I y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 218, 224, 227 y demás aplicables del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios; 8o. fracción IV y 25 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, y

CONSIDERANDO

Que con fecha 31 de mayo de 1994, en cumplimiento de lo previsto en el artículo 46 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Dirección General de Salud Ambiental presentó al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, el anteproyecto de la presente Norma Oficial Mexicana.

Que con fecha 15 de agosto, en cumplimiento del acuerdo del Comité y de lo previsto en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el proyecto de la presente Norma Oficial Mexicana a efecto de que dentro de los siguientes noventa días naturales posteriores a dicha publicación, los interesados presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario.

Que en fecha previa 3 de febrero de 1995, fue publicada en el **Diario Oficial de la Federación** la respuesta a los comentarios recibidos por el mencionado Comité, en términos del artículo 47 fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que en atención a las anteriores consideraciones, contando con la aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, se expide la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION"

INDICE

0. INTRODUCCION

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

2. REFERENCIAS

3. DEFINICIONES

4. LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AGUA

5. TRATAMIENTOS PARA LA POTABILIZACION DEL AGUA

6. BIBLIOGRAFIA

7. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

8. OBSERVANCIA DE LA NORMA

9. VIGENCIA

0. Introducción

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización.

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

2. Referencias

NOM-008-SCF1-1993 "Sistema General de Unidades de Medida".

3. Definiciones

3.1 Ablandamiento: Proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.

3.2 Adsorción: Remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.

3.3 Agua para uso y consumo humano: Aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano.

3.4 Características bacteriológicas: Son aquellas debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales.

3.5 Características físicas y organolépticas: Son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

3.6 Características químicas: Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

3.7 Características radiactivas: Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

3.8 Coagulación química: Adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

3.9 Contingencia: Situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa, que ponga en riesgo la salud humana.

3.10 Desinfección: Destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.

3.11 Filtración: Remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.

3.12 Floculación: Aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.

3.13 Intercambio iónico: Proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.

3.14 Límite permisible: Concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que garantiza que el agua será agradable a los sentidos y no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

3.15 Neutralización: Ajuste del pH, mediante la adición de agentes químicos básicos o ácidos al agua en su caso, con la finalidad de evitar incrustación o corrosión de materiales que puedan afectar su calidad.

3.16 Osmosis inversa: Proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.

3.17 Oxidación: Introducción de oxígeno en la molécula de ciertos compuestos para formar óxidos.

3.18 Potabilización: Conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para uso y consumo humano.

3.19 Precipitación: Proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas sedimentables del agua, por efecto gravitacional.

3.20 Sistema de abastecimiento: Conjunto intercomunicado o interconectado de fuentes, obras de captación, plantas cloradoras, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y regulación, cárcamos de bombeo, líneas de conducción y red de distribución.

4. Límites permisibles de calidad del agua

4.1 Límites permisibles de características bacteriológicas

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.

Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes deben establecer los agentes biológicos nocivos a la salud a investigar.

TABLA 1

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

4.2 Límites permisibles de características físicas y organolépticas

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

TABLA 2

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.

Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

4.3 Límites permisibles de características químicas

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Hierro	0.30
Fluoruros (como F-)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

4.4 Límites permisibles de características radiactivas

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

TABLA 4

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

5. Tratamientos para la potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua enlistados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en el apartado 4.

5.1 Contaminación biológica

5.1.1 Bacterias, helmintos, protozoarios y virus.- Desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta.

5.2 Características físicas y organolépticas

5.2.1 Color, olor, sabor y turbiedad.- Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, adsorción en carbón activado u oxidación.

5.3 Constituyentes químicos

5.3.1 Arsénico.- Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.2 Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo.- Intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.3 Cloruros.- Intercambio iónico, ósmosis inversa o destilación.

5.3.4 Dureza.- Ablandamiento químico o intercambio iónico.

5.3.5 Fenoles o compuestos fenólicos.- Adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.

5.3.6 Hierro y/o manganeso.- Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.7 Fluoruros.- Ósmosis inversa o coagulación química.

5.3.8 Materia orgánica.- Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado.

5.3.9 Mercurio.- Proceso convencional: coagulación-floculación-precipitación-filtración, cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Procesos especiales: en carbón activado granular y ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l; con carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l.

5.3.10 Nitratos y nitritos.- Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos.

5.3.11 Nitrógeno amoniacal.- Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.

5.3.12 pH (potencial de hidrógeno).- Neutralización.

5.3.13 Plaguicidas.- Adsorción en carbón activado granular.

5.3.14 Sodio.- Intercambio iónico.

5.3.15 Sólidos disueltos totales.- Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico.

5.3.16 Sulfatos.- Intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.17 Sustancias activas al azul de metileno.- Adsorción en carbón activado.

5.3.18 Trihalometanos.- Aireación u oxidación con ozono y adsorción en carbón activado granular.

5.3.19 Zinc.- Destilación o intercambio iónico.

5.3.20 En el caso de contingencia, resultado de la presencia de sustancias especificadas o no especificadas en el apartado 4, se deben coordinar con la autoridad sanitaria competente, las autoridades locales, la Comisión Nacional del Agua, los responsables del abastecimiento y los particulares, instituciones públicas o empresas privadas involucrados en la contingencia, para determinar las acciones que se deben realizar con relación al abastecimiento de agua a la población.

6. Bibliografía

6.1 "Desinfección del Agua". Oscar Cáceres López. Lima, Perú. Ministerio de Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1990.

6.2 "Guías para la Calidad del Agua Potable". Volumen 1. Recomendaciones. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1985.

6.3 "Guías para la Calidad del Agua Potable". Volumen 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base. Organización Panamericana de la Salud. 1987.

6.4 "Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas". Proyecto de Revisión. SECOFI. 1992.

6.5 "Guide to Selection of Water Treatment Processes". Carl L. Hamann Jr., P.E. J. Brock Mc. Ewen, P.E. Anthony G. Meyers, P.E.

6.6 "Ingeniería Ambiental". Revista No. 23. Año 7. 1994.

6.7 "Ingeniería Sanitaria Aplicada a la Salud Pública". Francisco Unda Opazo. UTEHA 1969.

6.8 "Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales". Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Gordon M. Fair, John C. Geyer, Daniel A. Okun. Limusa Wiley. 1971.

6.9 "Instructivo para la Vigilancia y Certificación de la Calidad Sanitaria del Agua para Consumo Humano". Comisión Interna de Salud Ambiental y Ocupacional. Secretaría de Salud. 1987.

6.10 "Integrated Design of Water Treatment Facilities". Susumu Kawamura. John Willey and Sons, Inc. 1991.

6.11 "Manual de Normas de Calidad para Agua Potable". Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1982.

6.12 "Manual de Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas Potabilizadoras". Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1979.

6.13 "Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios". **Diario Oficial de la Federación**. 18 de enero de 1988.

6.14 "Revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality". IPS. International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1991.

6.15 "WHO Guidelines for Drinking-Water Quality". Volume 1. Recommendations. World Health Organization. 1992.

6.16 "WHO Guidelines for Drinking-Water Quality". Volume 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Chapter 1: Microbiological Aspects. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1992.

7. Concordancia con normas internacionales

Al momento de la emisión de esta Norma no se encontró concordancia con normas internacionales.

8. Observancia de la Norma

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que distribuya agua para uso y consumo humano.

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, en sus respectivos ámbitos de competencia.

9. Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor con carácter de obligatorio, al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 30 de noviembre de 1995.- El Director General de Salud Ambiental, **Gustavo Olaiz Fernández**.- Rúbrica.