

***DIVISION DE SALUD Y AMBIENTE***

***GUIAS PARA LA SELECCION Y APLICACION DE  
TECNOLOGIAS DE DESINFECCION DEL AGUA PARA CONSUMO  
HUMANO EN PUEBLOS PEQUEÑOS Y COMUNIDADES  
RURALES EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE***

*Fred M. Reiff, Asesor Regional*

*Vicente M Witt, Consultor*

**Washington, D.C., 1995**

La versión original de este documento, en el idioma inglés, "Guidelines for the Selection and Application of Disinfection Technologies for Small Towns and Rural Communities in Latin America and the Caribbean, Pan American Health Organization, Regional Office of the World Health Organization, Environmental Health Program, Technical Series N° 30, Washington, D.C., August 1992", ha sido distribuida como Documento Preliminar a varias instituciones e individuos en vista de las numerosas solicitudes de información sobre la materia y para obtener comentarios y sugerencias.

La presente versión en español es la traducción de la versión en inglés, revisada y actualizada con información reciente sobre las enfermedades transmitidas por el agua, nuevos avances en las tecnologías de desinfección y en los conocimientos sobre los subproductos de la desinfección.

La mención de compañías o de ciertos productos y equipos no implica endoso o recomendación de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), en preferencia de otros de naturaleza similar que no se mencionan. Con la excepción de errores u omisiones, los nombres de productos patentados se distinguen con letras mayúsculas iniciales.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
<b>Prefacio</b> .....	vii
<b>Reconocimientos</b> .....	ix
<b>Siglas y abreviaturas utilizadas</b> .....	x
<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Principios básicos de la desinfección del agua</b> .....	5
2.1 Importancia de la desinfección del agua .....	7
2.2 Características deseables en un desinfectante de agua .....	8
2.3 Eficacia del desinfectante .....	9
<b>3. Tipos de desinfectantes y métodos de desinfección</b> .....	21
3.1 Cloración .....	25
3.2 Ozonación .....	44
3.3 Oxidantes mezclados .....	53
3.4 Radiación ultravioleta .....	62
3.5 Yodación .....	68
3.6 Procesos de desinfección menores y experimentales .....	82
Bromo .....	82
Iones metálicos .....	84
Calor .....	86
Radiación gamma y rayos-X .....	88
Luz solar .....	90
<b>4. Consideraciones sobre los subproductos de la desinfección</b> .....	93
4.1 Sabor y olor .....	96
4.2 Los SDD y las inquietudes sobre la salud .....	100
4.3 Subproductos de la cloración .....	100
4.4 Subproductos de la ozonación .....	104
4.5 Subproductos del bióxido de cloro .....	106
4.6 Subproductos de la cloraminación .....	106
4.7 Normas de calidad del agua para los SDD y los desinfectantes .....	107
4.8 Control de los subproductos de la desinfección .....	107
4.9 Riesgos relativos para la salud .....	110

<b>5. Dispositivos para la dosificación de desinfectantes</b> .....	<b>115</b>
5.1 Cloración y cloradores .....	117
5.2 Sistemas de desinfección por ozono .....	150
5.3 Sistemas MOGOD .....	160
5.4 Sistemas de desinfección por luz ultravioleta .....	172
5.5 Sistemas de yodación .....	177
<b>6. Selección de los sistemas de desinfección</b> .....	<b>185</b>
6.1 Condiciones generales .....	187
6.2 Aspectos económicos .....	189
6.3 Aspectos relacionados con la energía eléctrica .....	190
6.4 Consideraciones técnicas .....	190
6.5 Percepciones de la comunidad y consideraciones sociales .....	191
6.6 Retroalimentación de la información .....	193
6.7 Pruebas de laboratorio y proyectos de demostración .....	193
6.8 Estandarización .....	194
6.9 Selección final .....	195
<b>7. Conclusiones</b> .....	<b>205</b>
<b>Anexo 1 Desinfección de transición y de emergencia</b> .....	<b>211</b>
<b>Anexo 2 Descripción de algunas enfermedades comúnmente relacionadas con condiciones deficientes de agua y saneamiento</b> .....	<b>221</b>

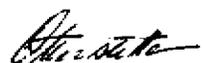
## PREFACIO

Desde hace mucho tiempo se ha reconocido que el suministro de agua potable es una intervención de salud pública sumamente eficaz, y se ha aseverado que el número de grifos de agua es un indicador más fiel del estado de salud de una comunidad que el número de camas de hospital. Sin embargo, si se trata de aumentar los beneficios para la salud es absolutamente imprescindible que el agua para consumo humano tenga calidad tanto química como biológica adecuada, lo que exige proteger las fuentes de agua, tratar el agua e impedir la recontaminación. Como parte de este esfuerzo, la desinfección del agua cobra una importancia fundamental en el mejoramiento y mantenimiento de la calidad microbiológica buscada.

La desinfección de los suministros de agua en América Latina y el Caribe no es un proceso nuevo. Se ha recomendado y llevado a cabo desde principios de siglo. Sin embargo, por diversas razones, esta práctica dista mucho de ser común y gran número de personas de la Región están expuestas a riesgos de salud relacionados con el agua, debidos a fallas en la desinfección o a su ausencia total. Una de las causas principales de esta situación es, sin duda, la dificultad para seleccionar una tecnología adecuada para la desinfección del agua, particularmente si se trata de comunidades pequeñas. Las consecuencias son evidentes en la alta incidencia de enfermedades transmitidas por el agua en la Región, hecho que se puso de manifiesto irrefutablemente durante el reciente brote de cólera ocurrido en casi todos los países de América Latina.

La Organización Panamericana de la Salud, al formular estas guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección apropiadas, se propone apoyar a los profesionales y a los gobiernos de la Región en su empeño por hacer que la desinfección del agua se convierta en una práctica normal y universal. En estas guías se evalúan los aspectos positivos y negativos, así como los puntos fuertes y débiles de los diversos métodos actuales y potenciales de desinfección, sin perder de vista tanto las limitaciones como las condiciones propias de América Latina y el Caribe. Por otra parte, se brinda orientación para asegurar la selección del sistema de desinfección más apropiado de acuerdo con las condiciones predominantes. La aplicación de estas guías debe ayudar en la evaluación cuidadosa de las situaciones y condiciones existentes y en la identificación de las razones y limitaciones que han impedido la desinfección eficaz; además, ellas proporcionan un marco lógico y práctico para la planificación y ejecución de programas viables de desinfección.

Se espera que al poner esta información al alcance de los responsables del suministro de agua potable en los países, se contribuya al logro de una desinfección más fiable, segura y eficaz de este recurso vital y se obtenga una mejora sostenible en las condiciones de salud.



Horst Otterstetter  
Director  
División de Salud y Ambiente

## **RECONOCIMIENTOS**

La preparación de este documento ha sido posible gracias a las contribuciones de numerosas personas. Los autores desean expresar su reconocimiento, en especial a las siguientes: Ing. Geo. Clifford White, Bacteriólogo Edwin Geldreich, Dr. William Glaze, Dr. Humberto Romero Alvarez, Dra. Hend Galal Gorchev e Ing. Luis Urbano Jáuregui por las valiosas opiniones técnicas proporcionadas durante el proceso de elaboración del manuscrito, así como por el interés que han demostrado en que se complete esta tarea lo más pronto posible. Las sugerencias de los Ingenieros Julio Burbano, Roger Gamboa, Julio Roberto Jiménez, Gonzalo Ordóñez, Homero Silva y Antonio Rossin también han contribuido a la preparación del manual. La colaboración de la Dra. Linda Venzel, en particular, hizo posible una mejor comprensión de la eficacia microbicida de las mezclas de oxidantes, lo que permitió actualizar las secciones pertinentes de las guías. A ella le corresponde también el crédito por la preparación del Anexo 2.

La información, los diagramas y los datos proporcionados por el sector privado han permitido completar los aspectos prácticos de la desinfección. Especialmente generosa ha sido la contribución de ELTECH Inc., Los Alamos Technical Associates, Chlorinators Inc., Capital Controls Co. Inc., Electrochemie, Clorid y Alldos. Los datos sobre costos, calidad del agua y operacionales, proporcionados tanto por diversas autoridades responsables por abastecimientos de agua, así como por organismos de salud de América Latina y el Caribe; incluyendo la identificación de lagunas de información que existen en relación con la desinfección de los abastecimientos públicos de agua de comunidades pequeñas en esta Región, han ayudado en la identificación de los problemas prioritarios que se encuentran comúnmente en los países en desarrollo de las Américas.

Además, la perspicacia y la franqueza de muchos operadores de plantas de tratamiento de agua en América Latina y el Caribe que fueron entrevistados durante un período de 14 años facilitó la vinculación de los aspectos pedagógicos con los prácticos de la desinfección de agua.

La terminación de esta publicación no hubiera sido posible sin el decidido apoyo y la dedicación continua de la Sra. Janet Khoddami, la Sra. María E. Gutiérrez y la Sra. Ofelia Nieto, quienes tuvieron a cargo la tipografía y edición.

### SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

AWWA	"American Water Works Association" es la sigla en Inglés
CEDAT	Centro de Aplicación y Desarrollo de Tecnología (de la Secretaría de Salud de México)
CD	Carbono orgánico disuelto
C·t	Abreviatura de la concentración de un desinfectante y el tiempo de contacto requerido para la inactivación de un microorganismo
DGCOH	Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Distrito Federal de México
DPD	Abreviatura en Inglés del reactivo N,N-dietilo-p-feniledediamina utilizado en la determinación de la concentración del residual de cloro en el agua
HTH	"High test hipochlorite", sigla en Inglés que se utiliza comúnmente en América Latina para designar al hipoclorito de calcio con alto contenido de cloro
CIIC	Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer
IDA	Ingesta diaria admisible
IDT	Ingesta diaria tolerable
MOGOD	"Mixed oxidants generated on site for disinfection" acrónimo en Inglés
NSENO	Nivel sin efectos negativos observados
NICENO	Nivel inferior con efectos negativos observados
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PVC	Sigla en Inglés utilizada comúnmente en América Latina para designar al cloruro de polivinilo
PE	Sigla en Inglés utilizada comúnmente en América Latina para designar al polietileno
SDD	Subproductos de la desinfección (productos secundarios de la desinfección)
THM	Trihalometanos (un grupo de subproductos de la desinfección)
TTHM	Trihalometanos totales
UTN	Unidad de turbiedad nefelométrica
UNICEF	"United Nations International Children's Emergency Fund"
USEPA	"United States Environmental Protection Agency"
UV	Ultravioleta (luz o radiación)

## ***1. INTRODUCCION***

La razón fundamental para desinfectar el agua destinada al consumo humano y uso doméstico es asegurar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos para el hombre, transmitidos por ésta. La desinfección de los abastecimientos comunitarios de agua es una medida esencial de salud pública que data de principios del siglo XX, y su importancia se ha demostrado tanto en teoría como en la práctica. El tratamiento adecuado y la desinfección fiable del agua permitieron reducir considerablemente la incidencia de la tifoidea y el cólera en muchos países, antes de que se descubrieran los antibióticos y las vacunas. En todos los lugares donde se ha realizado adecuadamente, la desinfección del agua ha aportado beneficios de salud para los usuarios.

Los numerosos estudios llevados a cabo en los últimos 50 años han demostrado los beneficios de la desinfección. Dos trabajos son particularmente dignos de mención: 1) en un estudio sobre la diarrea efectuado en Quindío, Colombia: "Problemas relacionados con el tratamiento del agua" (1985), los doctores David Bersh y Margarita Osorio (1) revelaron una relación inversa entre la concentración de cloro residual y las tasas de diarrea entre niños menores de 5 años, en un quinquenio; y 2) en un proyecto piloto financiado por el UNICEF realizado en 1982 por el Instituto de Salud Infantil de Calcuta, Bengala Occidental, India, 300 familias recibieron agua desinfectada y otras 300 sin desinfectar (2). Se determinó que todos los demás factores eran esencialmente iguales. En un período de nueve meses se registró una reducción del 80% en la incidencia inicial de enfermedades diarreicas entre los niños que recibieron agua desinfectada y una reducción de tan sólo el 5% entre los que no la recibieron desinfectada.

En los casos en los que el agua es el vehículo predominante para la transmisión de enfermedades, las concentraciones adecuadas de desinfectante y suficiente tiempo de contacto reducirán la incidencia de esas enfermedades. En estas condiciones podría asegurarse que el agua no sea un vehículo para la transmisión de enfermedades como el cólera, hepatitis infecciosa, poliomielitis, fiebres tifoidea y paratifoideas, amibiasis, balantidiasis, campilobacteriosis, enteritis causadas por rotavirus, y diarrea causada por cepas de *E. Coli*. Estas enfermedades son debilitantes y a veces letales; imponen una pesada carga económica y física sobre todos los afectados, especialmente los pobres, que son quienes menos pueden afrontarlas. Aunque los métodos de coagulación química, sedimentación y filtración suelen reducir en un 99% el número de microorganismos en el agua, se requieren niveles adecuados de desinfectante para producir agua salubre desde el punto de vista microbiológico. La desinfección<sup>1</sup> es importante en todos los sistemas, pero es crítica

---

<sup>1</sup>La Organización Panamericana de la Salud recomienda la desinfección del agua como práctica general, y en el caso de aguas superficiales precedida de filtración u otros sistemas de tratamiento equivalentes.

en las comunidades pequeñas y zonas rurales, donde puede ser la única forma de tratamiento asequible.

La desinfección del agua de los suministros públicos no solo es una de las tecnologías más sencillas de tratamiento de aguas, sino también muy eficaz en función del costo, que puede variar entre EUA\$0,50 y \$2,00 por persona al año, o sea el precio aproximado de una o dos botellas de bebida gaseosa o de agua mineral. El costo de garantizar la inocuidad del agua potable es tan bajo, y los beneficios tan grandes, que resulta difícil pensar en una buena razón que justifique la preponderante falta de desinfección adecuada de los abastecimientos pequeños y medianos de agua en todo el mundo.

Las encuestas realizadas por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y otras entidades han demostrado que la desinfección es inadecuada o poco segura en un gran número de abastecimientos públicos de agua, a pesar de las demostradas ventajas que conlleva para la salud, aun cuando se cuente con instalaciones para ello. En el taller patrocinado por la OPS en mayo de 1984 destinado a presentar las Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad del agua potable, una encuesta entre los participantes reveló que más del 75% de los sistemas de agua en América Latina y el Caribe eran desinfectados *inadecuadamente* o no se desinfectaban. Los estudios e investigaciones nacionales ulteriores revelaron que ese porcentaje era algo más alto. Al mismo tiempo, la incidencia de las enfermedades transmitidas por el agua era elevada en la mayoría de los países. Por lo tanto, no sorprendió el hecho de que la epidemia de cólera que comenzó en 1991 en América Latina se vincule, en gran medida, a la falta de desinfección de los suministros de agua. Sin embargo, hay que anotar que esta epidemia revivió el interés en la desinfección, y una evaluación rápida realizada por la OPS en 1994 reveló que en los 17 países que participaron, aproximadamente el 60% de la población recibía agua desinfectada.

En las últimas décadas, el número de comunidades dotadas de sistemas de abastecimiento de agua ha aumentado notablemente en la Región de las Américas, y la mayoría de los planes nacionales aspiran a aumentar más la cobertura; sin embargo, la necesidad de purificar el agua no parece haber recibido atención adecuada. La desinfección deficiente de los abastecimientos de agua potable constituye uno de los problemas más graves que afectan a la salud de los residentes de los pueblos pequeños, las zonas rurales y las zonas urbanas marginales, y puede resolverse con inversiones relativamente pequeñas. La desinfección eficaz y fiable permitiría a los usuarios gozar de los principales beneficios de salud que brinda un abastecimiento de agua salubre.

**2. PRINCIPIOS BASICOS DE LA  
DESINFECCION DEL AGUA**

## 2.1 IMPORTANCIA DE LA DESINFECCION DEL AGUA

A mediados del siglo XIX, aún antes de que se demostrara la teoría microbiana, se había determinado que la transmisión de las enfermedades entéricas estaba vinculada al agua contaminada, en particular el cólera y la tifoidea, lo que instó a las autoridades de salud pública, basadas en la experiencia y la intuición, a introducir medidas y reglamentos, como la ley promulgada en Londres en 1852 exigiendo que se filtrara toda el agua (del abastecimiento público). Con la acumulación de las pruebas de que las enfermedades anotadas se transmitían por medio de microorganismos, el tratamiento del agua adquirió impulso, y la filtración y desinfección se convirtieron en una práctica normal de salud pública.

Tradicionalmente, la desinfección del agua se ha entendido como la destrucción de bacterias intestinales patógenas. Afortunadamente, este proceso también mata o inactiva a la mayoría de los otros microorganismos causantes de enfermedades que pueden estar presentes en el agua, pero no necesariamente a todos ellos. Actualmente, la desinfección del agua destinada al consumo humano puede definirse como un proceso de destrucción o inactivación de agentes patógenos y otros microorganismos indeseables. La esterilización es el proceso de destrucción completa de toda materia viviente, incluyendo quistes, esporas y virus. Se emplea cuando se requiere una ausencia total de materia viviente, por ejemplo, en algunos procedimientos médicos y de laboratorio. La pasteurización, al igual que la desinfección, no inactiva a todos los microorganismos vivientes, pero mata a la mayoría de los agentes patógenos, como en la pasteurización de la leche. Actualmente, el objetivo de la desinfección del agua es asegurar que el consumidor reciba agua esencialmente salubre, mediante la destrucción de la gran mayoría de los agentes patógenos, si no de todos, manteniendo una barrera protectora contra los agentes patógenos que se introducen en el sistema de distribución, y suprimiendo el posible ulterior crecimiento microbiológico en el sistema.

En el contexto más amplio de la calidad del agua destinada al consumo humano, ésta no debe contener microorganismos nocivos y las concentraciones de sustancias químicas o de otro tipo deben estar bajo los niveles que pueden presentar riesgos para la salud. Además, tampoco debe tener turbiedad o color, ni sabor u olor desagradable. Desde el punto de vista biológico, estos requisitos implican la eliminación o destrucción de bacterias entéricas, virus, quistes de protozoos y esporas bacterianas que pueden causar infección o enfermedad.

Aunque los beneficios de salud directos derivados del mejoramiento del agua potable son bien reconocidos, frecuentemente se pasa por alto el hecho de que estos van más allá de la reducción de la incidencia o la disminución de la tasa de mortalidad por una enfermedad específica, particularmente cuando se compara la eficacia del abastecimiento de agua potable inocua y del saneamiento adecuado con

otras intervenciones de salud diseñadas para controlar enfermedades o situaciones muy especiales. Ya en 1904 Allen Hazen (3) presentó datos relacionando una disminución conjunta en las tasas de mortalidad por otras causas con la reducción de la fiebre tifoidea: "Según se expresó a la sazón, cuando se evita una muerte por fiebre tifoidea gracias al consumo de mejor agua, también se evitan dos o tres muertes por otras causas". En otras palabras, por cada vida salvada de morir por fiebre tifoidea, se salvarían dos o tres más por otras causas. "Por ejemplo, en Hamburgo, Alemania, por cada disminución en muertes por fiebre tifoidea después de instalarse la filtración, hubieran 15,8 menos muertes por otras causas" (3). Indudablemente, la proporción variará según las condiciones existentes en cada caso específico, pero no debe dejar de considerarse este hecho en ninguna evaluación de los beneficios del suministro de agua libre de agentes patógenos. Estas consideraciones son muy importantes en las regiones en desarrollo del mundo con saneamiento deficiente y la resultante contaminación excesiva de las fuentes de agua con bacterias, virus y protozoos patógenos.

Los beneficios que los sistemas de abastecimiento de agua salubre aportan para la salud y el bienestar, en particular cuando vienen acompañados de una campaña de saneamiento y de educación sanitaria, en realidad son muy amplios, ya que previenen la transmisión de enfermedades transportadas por el agua y los excrementos; contribuyen a una mejor nutrición; les evitan a las mujeres la tarea de conseguir agua; promueven las industrias artesanales y, en general, mejoran el bienestar de las personas. Además, los suministros de agua salubre desempeñan una función crucial en el desarrollo económico.

Algunas veces se sugiere que se le dé prioridad a la cantidad de agua, sin mayor consideración de su calidad; la cantidad de agua es importante, sin embargo, debe insistirse en que el agua para el consumo humano debe estar libre de microorganismos que representan riesgos para la salud. Incluso grandes cantidades de agua contaminada no satisfarán este requisito. Por otro lado, el agua salubre puede cumplirlo y además atender las necesidades de higiene personal y doméstica (lavarse, bañarse, preparar alimentos, etc.) y otros usos. La calidad y la cantidad adecuadas de agua se complementan. En teoría el ser humano puede subsistir con unos cinco litros de agua al día, pero se estima que para conservar un buen estado de salud necesita entre 40 y 50 litros diarios para la higiene personal y doméstica. En medios urbanizados e industrializados el requerimiento generalmente es mayor.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DESEABLES EN UN DESINFECTANTE DE AGUA**

Para que sea idóneo, un desinfectante de agua para consumo humano, debe satisfacer ciertos criterios generales entre los cuales se encuentran los siguientes:

*Principios básicos de la desinfección*

1. Debe poder destruir o inactivar, clases y números de microorganismos presentes en el agua que se va a consumir.
2. El análisis para determinar la concentración de microorganismos en el agua debe ser exacto, sencillo, rápido y tanto en el terreno como en el laboratorio.
3. El desinfectante debe ser fiable para usarse dentro del rango de condiciones que podrían encontrarse en el abastecimiento de agua.
4. Debe poder mantener una concentración residual adecuada en el sistema de distribución de agua para evitar la recontaminación o que los microorganismos se reproduzcan.
5. De ser posible no debe introducir ni producir sustancias tóxicas, o en caso contrario éstas deben mantenerse bajo los valores guía, o las normas, ni cambiar en ninguna otra forma las características del agua de modo que esta no sea apta para el consumo humano, o sea estéticamente inaceptable para el consumidor.
6. El desinfectante debe ser razonablemente seguro y conveniente de manejar y aplicar en las situaciones en que se preve su uso.
7. El costo del equipo, su instalación, operación, mantenimiento y reparación, así como la adquisición y el manejo de los materiales requeridos para sustenar permanentemente una dosificación eficaz, debe ser razonable.

**2.3 EFICACIA DEL DESINFECTANTE**

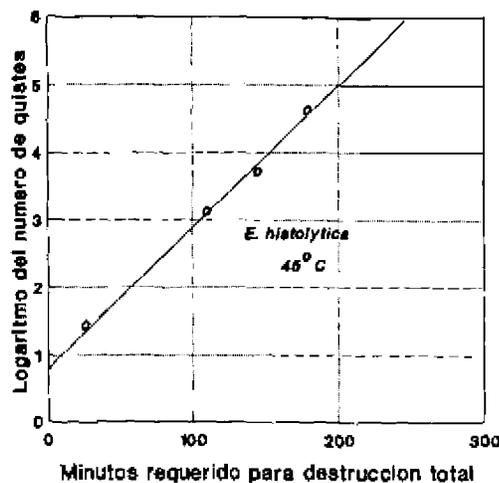
Varios factores influyen en la eficacia de un desinfectante de agua. Por lo tanto, en la selección de un sistema de desinfección es preciso comprender bien el efecto de estos para determinar sus posibles repercusiones en la desinfección y, de ser el caso, controlarlos para aumentar la eficiencia del proceso. A continuación se tratan los más importantes.

### Naturaleza y concentración de los microorganismos de interés

Los microorganismos patógenos que se pueden encontrar en agua contaminada pueden agruparse en bacterias, virus y protozoos. En general, las esporas bacterianas son más resistentes que los quistes de protozoos. Los quistes son más resistentes que los virus, y estos son más resistentes que las bacterias vegetativas. El número de microorganismos, si es muy elevado (4), o si estos están agregados o adheridos a partículas que los protegen, puede afectar a los resultados. Aunque el tiempo requerido para matar o inactivar a los microorganismos es proporcional al número presente originalmente, según se muestra en la Figura 1, normalmente esta consideración en la práctica, no debe ser un problema en los suministros de agua que utilizan agua bruta de alta calidad y si se toman otras precauciones necesarias para garantizar la seguridad del sistema de abastecimiento, como lo recomienda la salud pública; pero cuando hay que utilizar agua contaminada como fuente de abastecimiento, sí debe ser una preocupación primordial.

### Naturaleza del agua que se va a desinfectar

La importancia de la calidad de la fuente de agua y la necesidad de una cuidadosa operación y mantenimiento para conservar la integridad de un sistema de abastecimiento de agua por tuberías, se ha demostrado muchas veces. Esto se confirma claramente en un estudio realizado en el Condado de Qidong, China (5). En el estudio de cinco meses de duración se llegó a la conclusión de que la incidencia de enfermedades infecciosas entéricas en seis poblados que habían recibido agua de mejor calidad, de pozos profundos, llevada por tuberías hasta las casas y suministrada a través de grifos, era 38,6% menor que en seis poblados en los que se empleó agua superficial como fuente. Ninguno de los dos sistemas tenía desinfección. El recuento bacteriano total promedio de las muestras de agua superficial en los poblados testigo fue de 3551 por ml y el recuento promedio de Coliformes fue de 772 por litro. En contraste, las muestras de los sistemas de pozos promediaron un total de 5,4 bacterias por ml y 2,3 coliformes por litro, incluyendo los meses de verano durante los cuales los cortes de corriente eléctrica interrumpieron la operación de las bombas de los pozos, por lo que todo el condado tuvo que beber agua superficial algunas veces. Un análisis de regresión del porcentaje de tiempo que estuvo interrumpida la corriente demostró que si hubiera sido posible eliminar totalmente esos cortes, la incidencia de la diarrea en los cinco meses del verano y el otoño podría haber descendido hasta en un 90%.



Fuente: Chang (1950)

**FIGURA 1**  
**Efecto de la concentración de quistes de *E. histolytica***  
**sobre los tiempos requeridos para la destrucción total**  
**(100%) a 45°C (4)**

Las materias suspendidas y la turbiedad pueden albergar microorganismos patógenos. Las Guías de la OMS para el agua potable (6) recomiendan una turbiedad mediana que no exceda de 1 unidad de turbiedad nefelométrica (UTN) y que la turbiedad de ninguna muestra individual exceda 5 UTN cuando se practica la desinfección. Además, las sustancias presentes en el agua pueden reaccionar con el desinfectante, generalmente reduciendo la eficacia. La materia orgánica y los agentes reductores como el hierro, el manganeso y el sulfuro de hidrógeno reaccionan con los agentes oxidantes consumiendo desinfectante, lo que hace necesario aumentar la dosificación para mantener un residual adecuado. La temperatura y el pH también pueden influir en la supervivencia de los microorganismos, así como en la eficacia del desinfectante.

### Los valores de C·t

Es sumamente difícil comparar la eficacia de diferentes desinfectantes, aun bajo condiciones de laboratorio cuidadosamente controladas, debido al número de variables que afectan al proceso de desinfección. Además, de las condiciones físicas y químicas anotadas, la resistencia tan variable a la desinfección entre diferentes cepas de las mismas especies de microorganismos, y más aún entre diferentes especies dentro de los tres grupos principales de microorganismos (bacterias, virus y protozoos) hacen que la comparación sea una tarea muy compleja. Aunque ocasionalmente se encuentran helmintos y sus huevos, hay poca información sobre su prevalencia y susceptibilidad a los desinfectantes. Por lo tanto, en la práctica del tratamiento y distribución del agua, se requiere una interpretación juiciosa de los estudios de laboratorio, moderados por la experiencia operativa y la observación cuidadosa para asegurar una desinfección fiable y eficaz. En este contexto las siguientes observaciones son pertinentes.

En general, con una concentración mayor de desinfectante activo, se requerirá menos tiempo para inactivar o destruir los microorganismos.

Mientras más alta sea la temperatura, mayor será la eficacia (mayor número de muertes o inactivación) de los desinfectantes químicos, y viceversa. En general, estos son menos eficientes a medida que la temperatura se acerca al punto de congelación del agua. En cambio la temperatura tiene poca influencia sobre la eficacia de la luz ultravioleta y la radiación ionizante.

Mientras más tiempo estén expuestos los organismos a un desinfectante, mayor será la oportunidad de contacto y por lo tanto de acción. La totalidad de muertes o inactivación es proporcional al tiempo de contacto.

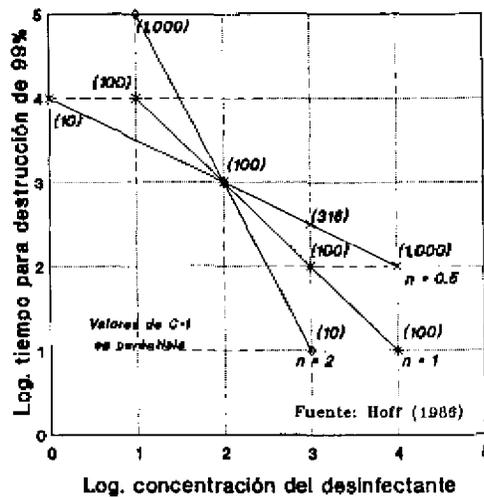
Los valores del producto de la concentración y tiempo de contacto derivados en el laboratorio son presentemente los parámetros de más amplia aceptación para comparar la eficiencia de los desinfectantes de agua. Esta relación "C·t" se derivó del trabajo de Watson y se expresa por medio de la ecuación empírica:

$$k = C^n \cdot t$$

en que:

- k = constante para el microorganismo específico expuesto bajo condiciones específicas (mg·min/litro)
- C = concentración del desinfectante (mg/litro)
- n = coeficiente de dilución
- t = tiempo de contacto necesario para un porcentaje de inactivación dado (min.)

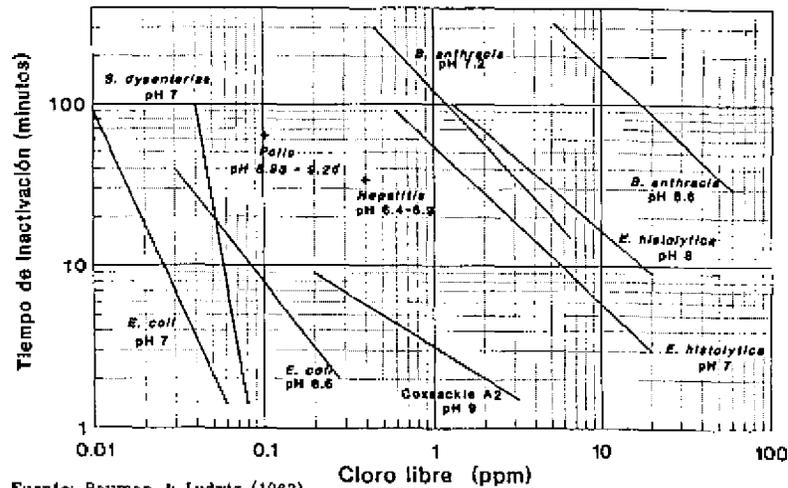
Si  $n > 1$ , la concentración del desinfectante influye más sobre la inactivación que el tiempo de exposición, mientras que cuando  $n < 1$ , ocurre lo contrario. En la aplicación práctica del concepto  $C \cdot t$  se asume que  $n = 1$ , o sea que los dos ejercen igual influencia, es decir que la eficacia del desinfectante aumenta con la concentración. La Figura 2 ilustra el efecto del valor de  $n$  sobre los valores de  $C \cdot t$  a diferentes concentraciones de desinfectante (7) (a temperatura y pH constantes).



**FIGURA 2**  
Efecto del valor de  $n$  sobre los valores de  $C \cdot t$  a diferentes concentraciones de desinfectante (los valores de  $C \cdot t$  aparecen entre paréntesis) (7)

La eficacia (eficiencia) de un desinfectante generalmente se ilustra en un gráfico logarítmico en el que un eje representa el tiempo en minutos y el otro representa la concentración del desinfectante en miligramos por litro (mg/litro). Cuando el pH y la temperatura se mantienen constantes, este gráfico logarítmico de los tiempos de contacto y concentraciones necesarias para alcanzar una reducción determinada previamente (normalmente del 99%) de los microorganismos,

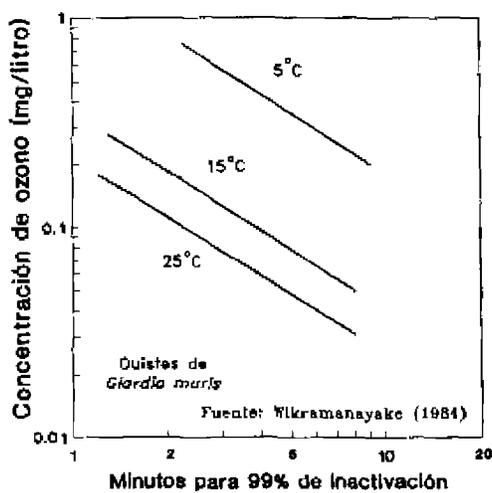
generalmente se aproxima a una línea recta. La Figura 3 muestra la inactivación de diversos microorganismos por cloro libre en función de diferentes valores de pH (8). En las diversas pendientes de las líneas se reflejan diferentes valores de  $n$  para distintos microorganismos.



**FIGURA 3**

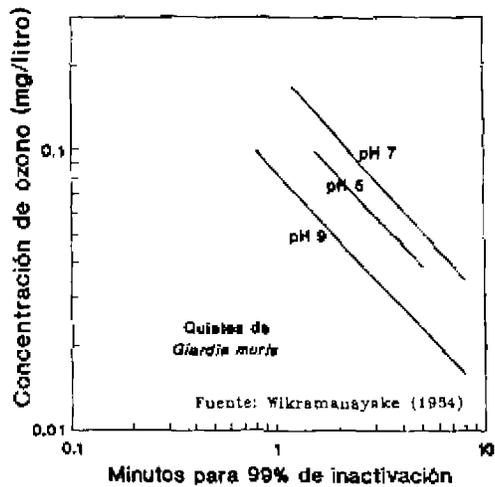
*Tiempo requeridos para inactivar diversos microorganismos con cloro libre a 20°C - 29°C (8)*

La temperatura y el pH tienen gran influencia en la eficacia de todas las sustancias oxidantes utilizadas como desinfectante. La Figura 4 presenta el efecto de la temperatura sobre la inactivación de quistes de *Giardia muris* con ozono (9). Debe observarse la gran diferencia entre los efectos que la disminución de la temperatura de 25°C a 15°C y la disminución de 15°C a 5°C tienen en la inactivación; sin embargo, incluso a 5°C el ozono es un desinfectante eficaz.



**FIGURA 4**  
Efecto de la temperatura sobre la inactivación de quistes de *G. muris* con ozono (9)

La Figura 5 ilustra el efecto de un cambio de pH sobre la inactivación de *G. muris* con ozono a una temperatura constante de 25°C (9).



**FIGURA 5**  
Efecto del pH sobre la inactivación de quistes de *G. muris* con ozono a 25°C (9)

### Microorganismos patógenos transmitidos comúnmente por el agua en América Latina y el Caribe

El cólera es el ejemplo clásico de enfermedad transmitida por el agua. Esta enfermedad, muy temida, puede resultar en casos tan graves que pueden ocurrir defunciones en 24 horas o menos. En enero de 1991 el cólera se introdujo en el Perú y para diciembre de 1993 había ocasionado epidemias en 18 países de la Región de las Américas con un total de más de 950.503 casos y más de 9155 defunciones (10). Esta ocurrencia también demostró la existencia de bajas condiciones sanitarias en los países afectados y en cierta medida las altas incidencias de otras enfermedades transmitidas por el agua, no tan dramáticas, pero igualmente o más devastadoras.

En general la información sobre los agentes patógenos más importantes transmitidos por fuentes de agua es limitada principalmente por la dificultad para aislar especies individuales cuando se examinan concentraciones bajas de organismos patógenos. Este problema se examina en un estudio de la microbiología y parasitología del agua destinada al consumo humano, realizado en Colombia (11) antes y después de la cloración. Aunque no se pudo aislar agentes patógenos específicos de las muestras de agua, se confirmó que las enfermedades diarreicas agudas disminuyeron notablemente después de los seis meses de haberse iniciado la aplicación de cloro. Sin embargo, en muchos casos se han identificado en varios países agentes patógenos en aguas que sirven de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano. Además, las investigaciones sobre la incidencia de diarreas en niños así como de otros estudios y situaciones relacionadas permiten inferir la posible presencia de agentes patógenos en el agua.

En los estudios de la diarrea en niños pequeños se ha determinado que los rotavirus son la causa principal de ésta en todo el mundo (12), incluyendo los países en desarrollo. También se estima que las bacterias causan hasta el 45% de los casos de diarrea en todos los grupos de edad en los países en desarrollo, y que la diarrea del viajero, de alta incidencia, es causada principalmente por *E. coli* enterotoxigénica (13).

En América Latina y el Caribe, los trastornos del aparato digestivo que pueden estar relacionados con el agua predominan entre los niños pequeños y lactantes, y se han hecho muchos estudios para determinar los agentes causantes. Por ejemplo, Urrestarazu et al. (14) encontraron que en los niños menores de dos años de edad, con diarrea aguda, que concurren a dos hospitales de Caracas, Venezuela, durante un año, los agentes aislados con más frecuencia fueron *Escherichia coli* enterotoxigénica en el 41,8% de los casos; rotavirus en el 14,1%, *E*

*coli* enteropatógena en el 12,2% y *Klebsiela pneumoniae* en el 11,2%. El *C. jejuni* estaba presente en el 9,2% de los casos. Entre los parásitos, se encontró *Giardia lamblia* en el 3,5% de los casos y *Entamoeba histolytica* en el 3,5%. Mata et al. (15), en un estudio de vigilancia de 5.5 años realizado en Costa Rica entre niños con diarrea, ingresados en un hospital y examinados después de 4 días del inicio de la enfermedad, encontraron que el rotavirus estaba asociado con más del 40% de los casos. La *E. Coli* enterotoxigénica, ocupó el segundo lugar con el 13,0% de todos los casos, la *Salmonella* y la *Shigella* combinadas con un 15% (incluyendo infecciones dobles), y el *Campylobacter fetus* y *jejuni* alrededor del 8%, estuvieron implicados en los casos estudiados. En un 63,2% de los casos se detectó más de un agente. Trujillo et al. (16) informaron que en un estudio hecho en Medellín, Colombia, de 25 niños con diarrea aguda y 25 casos ambulatorios con diarrea leve, 48% de los casos agudos y 36% de los leves revelaron rotavirus como agentes. Además, en los casos leves, 8% mostraron *Salmonella* y 4% *Giardia lamblia*. En el 4% de los casos agudos se aisló *E. histolytica*, *Trichuris trichura* y *Strongyloides stercoralis*, respectivamente. Guderian et al. (17) estudiaron la diarrea en 100 niños de hasta dos años de edad ingresados en hospitales de Quito, Ecuador. Los agentes enteropatógenos identificados fueron: *Campylobacter* (23%), rotavirus (21%), *Shigella* (12%), *Salmonella enteritidis* (3%), *Giardia lamblia* (5%) y *Entamoeba histolytica* (1%). Se encontró un solo agente en el 38% de los casos; dos agentes en el 18%, y tres agentes en el 6%. En 1985, Simhon et al. (18) examinaron la virología del rotavirus y la epidemiología de la diarrea causada por este virus, habiendo llegado a la conclusión de que en los niños y lactantes es una de las causas principales de diarrea, especialmente en los países en desarrollo. La incidencia máxima se produce en los meses más fríos en climas templados y tropicales.

En la América Latina y el Caribe las enfermedades diarreicas representan un grave problema de salud pública, encontrándose entre las primeras cinco causas de defunción de menores de un año, y en muchos son la primera causa en niños de uno a cuatro años.

Estos estudios de los agentes causales sugieren que la mayoría de los casos de diarrea en los niños en América Latina, así como en otros países en desarrollo, los producen principalmente las bacterias y rotavirus, y que los protozoos pueden ser un agente patógeno menos significativo que en los países industrializados. sin embargo, no deben pasarse por alto estos últimos. Además, en las zonas endémicas en las que se carece de saneamiento básico, se prevé que habrá concentraciones proporcionalmente más altas de bacterias, protozoos, virus y parásitos que en las zonas con buen saneamiento

Se considera que la hepatitis vírica aguda es motivo de preocupación regional (19, 20), donde las incidencias en los países en desarrollo suelen ser mucho más altas que en los industrializados. En América del Sur, la incidencia se estima que oscila entre 24 y 93 por 100.000 habitantes por año, siendo la mayoría de los casos (50-85%) niños menores de 15 años.

La amibiasis es una enfermedad de importancia internacional, que se estima afecta a cerca del 10% de la población mundial. En muchos brotes la causa principal de infección ha sido la contaminación del agua potable con aguas servidas. En América Latina y el Caribe, algunos países acusan incidencias de hasta el 56%, aunque las tasas mayores del 30% son relativamente raras (21).

La fiebre tifoidea es endémica en muchos países de América Latina y se ha asociado con el agua potable así como con los alimentos.

Cuando el agua es el medio principal de transmisión de estas enfermedades, la desinfección contribuye considerablemente a controlarlas. *"La desinfección del agua potable es una intervención fundamental de la salud pública, que, si se aplica como es debido, reduce la incidencia de la mayor parte de las enfermedades transmitidas por el agua"* (22). Un abastecimiento de agua y prácticas de saneamiento seguros, acompañados de campañas de educación en salud, son un componente importante de las estrategias recomendadas para reducir la incidencia de las enfermedades transmitidas por el agua, y constituyen el único medio permanente de controlar la incidencia.

#### REFERENCIAS

- (1) Bersh, D. y M. M. Osorio. Studies of diarrhoea in Quindío. (Colombia): problems related to water treatment. Soc. Sci. Med, 21 (1): 31-39; 1985.
- (2) Action research on acceptability of safe water system and environmental sanitation by the rural communities of West Bengal. Estudio patrocinado por el UNICEF, realizado por el Instituto de Salud Infantil, Calcuta, India, 1982.
- (3) American Water Works Association, Inc. Water quality and treatment. Third Edition, A handbook of public water supplies McGraw-Hill Book Company, Nueva York; 1971.

- (4) Chang, S.L.. Kinetics in the thermodestruction of cysts of entamoeba histolytica in water. Am. J. Hyg., Vol. 52: 82-90, 1950.
- (5) Wang Zeng-sui, D.S.Shepard, Zhu Yun-cheng, R.A.Cash, Zhao Ren-jie, Zhu Zhen-xing and Shen Fu-min. Reduction of enteric infectious disease in rural China by providing deep-well tap water. Boletín de la Organización Mundial de la Salud, 07(2); 1989.
- (6) World Health Organization Guidelines for drinking water quality, volume 1, second edition. Geneva, 1993.
- (7) Hoff, J. C. Inactivation of microbial agents by chemical disinfectants. Drinking Water Research Division, Water Engineering Research Laboratory, E.P.A. de los EE.UU., Cincinnati, Ohio, (EPA-600/2-86/067); 1986
- (8) Bauman, E. R. y D. D. Ludwig. Free available chlorine residuals for small water supplies Jour. AWWA, Nov.: 1962.
- (9) Wickramanayake, G. B., A. J. Rubin, O.J. Sproul. Inactivation of Naegleria and Giardia cysts in water by ozonation. Journal WPCF. 56 (8); 1984.
- (10) Pan American Health Organization. Cholera update, December; 1993
- (11) Universidad del Valle Microbiología y parasitología de aguas destinadas al consumo humano en áreas semiurbanas de Santiago de Cali, antes y después de la cloración: Informe final. Cali, Colombia: Universidad del Valle; 1987.
- (12) Hamilton, J.R. Viral Enteritis, Pediatric Clinics of North America. 35, No 1, febrero de 1988.
- (13) Bishop, W. P. and M. H. Ulshen. Bacterial Gastroenteritis Pediatric Clinics of North America. Vol. 35. No. 1, febrero de 1988.
- (14) Urrestarazu, M.I., R.T. Darricarrere T., M Pérez, G. Daoud, N. Serrano, M. E. Cavazza, I. Pérez Schael. Frecuencia de Campylobacter jejuni y otros agentes patógenos en un grupo de lactantes venezolanos con diarrea aguda. Bol Of Sanit Panam 104(3), pp. 225-233; 1988.

- (15) Mata, L., Simhon A., Padilla, R., Gamboa M. Del Mar, Vargas, G., Hernández, F., Mohs, E., Lizano, C. Diarrhea associated with rotaviruses, enterotoxigenic escherichia coli, campylobacter, and other agents in Costa Rican children, 1976-1981. Am. J. Trop. Med. Hyg. 32(1), pp. 146-153; 1983.
- (16) Trujillo, H., Jaramillo, C., Restrepo, M., Mejía de R., G.I., Zapata, C.M., Ramírez, R. Rotavirus y otros enteropatógenos en la etiología de la diarrea aguda en Medellín, Colombia, 1982". Bol Of Sanit Panam 98(3), pp. 251-259; 1985.
- (17) Guderian, R.H., Ordóñez, G., Bossano, R. Diarrea aguda asociada con Campylobacter y otros agentes patógenos en Quito, Ecuador. Bol Of Sanit Panam 102(4), pp. 333-339; 1987.
- (18) Simhon, A. Virología de los rotavirus y epidemiología de la diarrea por rotavirus. Bol Of Sanit Panam 98(4), pp. 295-307; 1985.
- (19) Organización Panamericana de la Salud. Las condiciones de salud en las Américas, Edición 1990. Vol. 1. (Publicación Científica No. 524), Washington D.C.; 1990.
- (20) Hadler, S.C., Fay, O. H., Pinheiro, F., Maynard, J.E.. La hepatitis en las Américas: Informe del Grupo Colaborador de la OPS. Bol Of Sanit Panam, 103(3); 1987.
- (21) Organización Mundial de la Salud. Amibiasis: Informe de un Comité de Expertos de la OMS", Serie de Informes Técnicos No. 421, Ginebra; 1969.
- (22) Macedo, C.G. Balancing microbial and chemical risks in disinfection of drinking water: The Pan American Perspective. Safety of Water Disinfection. ILSI Press, Washington, D.C., 1993, pp. 17-20.