

**DESINFECTANTES Y ~~Y NUEVAS~~ TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL
TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE**

HERSON ALEXANDER OCHOA BARAJAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUIMICA

ESPECIALIZACION QUÍMICA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2004

**DESINFECTANTES Y NUEVAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL
TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE**

HERSON ALEXANDER OCHOA BARAJAS

**Trabajo de investigación para optar al título de
Especialista en Química Ambiental**

Director

GONZALO PEÑA ORTIZ

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUIMICA

ESPECIALIZACION QUÍMICA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2004

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Gonzalo Peña O, Ingeniero Civil y Director del proyecto por su valioso tiempo y colaboración.

Jairo Puente Bruges, Ingeniero Químico y Director de la especialización en Química ambiental, por sus valiosos aportes.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	1
1. DESINFECCION	5
1.1 DESINFECTANTE IDEAL	7
1.2 CLASIFICACION	8
1.2.1 Físicos	8
1.2.1.1 Calor	8
1.2.1.2 Radiación	9
1.2.1.3 Filtración	9
1.2.2 Químicos	9
1.2.2.1 Oxidantes	10
1.2.2.2 Iones metálicos	11
1.2.2.3 Acidos y álcalis	11
1.2.2.4 Tensoactivos	11
1.2.2.5 Alcoholes	11
1.2.2.6 Aldehidos	11
1.2.2.7 Fenol y sus compuestos	12
1.3 FACTORES QUE GOBIERNAN LA TECNOLOGIA DE LA DESINFECCION	12
1.4 CINETICA DE LA DESINFECCION	14
1.4.1 Tiempo de contacto	14

1.4.2	Concentración de desinfectante	15
1.5	NECESIDAD DE LA DESINFECCION	16
2.	EL AGUA POTABLE	18
2.1	CONTAMINANTES	19
2.2	TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR EL AGUA	30
2.2.1	Organismos indicadores de la contaminación	32
2.2.2	Problemática con el Cryptosporidium	34
2.2.2.1	Trasfondo	35
2.3	EFFECTOS SOBRE LA SALUD DEBIDO A LOS CONTAMINANTES EN EL AGUA	38
3.	METODOS ELECTROQUIMICOS	42
3.1	DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTROLITICO	43
3.2	CORO Y CLORAMINAS	44
3.2.1	Porque usar cloraminas en lugar de cloro para desinfectar el agua	44
3.2.2	Es peligroso el cloro en el agua potable	45
3.2.3	Son algunas personas alérgicas o sensibles al cloro	45
4.	CLORACION	46
4.1	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CLORACIÓN	48
4.2	REACCIONES DEL CORO EN EL AGUA	51
4.2.1	Reacciones provocadas por la radiación solar	54
4.2.2	Reacciones del cloro activo con compuestos inorgánicos	54
4.2.3	Reacciones con el amonio y con el nitrógeno orgánico	55
4.2.4	Reacciones producidas con compuestos orgánicos	56
4.3	RIESGOS DE PRODUCCION DE TOXICOS Y LA	

BIOCONCENTRACION DE LOS MISMOS	59
4.4 DEMANDA DE CLORO Y BREAK POINT	65
4.4.1 Demanda de cloro	69
4.5 CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCION	70
4.5.1 Elección del desinfectante residual	74
4.6 EQUIPOS E INSTALACIONES DE CLORACION	77
5. CLORAMINAS	79
5.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LAS CLORAMINAS	92
5.2 ESTUDIO REALIZADO SOBRE MONOCLORAMINA Y LEGIONELOSIS	94
6. DIOXIDO DE CLORO	97
6.1 QUE ES EL DIOXIDO DE CLORO ESTABILIZADO	99
6.2 COMO TRABAJA	99
6.3 EFECTIVIDAD	100
6.4 COMO ES APLICADO	100
6.5 DONDE ES APLICADO	101
6.5.1 Prevención y control de la legionela	101
6.5.2 Eliminación de la película biológica y control	101
6.5.3 Tratamiento de torres de refrigeración y sistemas de agua caliente y fría	102
6.5.4 Depuradores	103
6.5.5 Desinfección de agua potable	104
6.5.6 Lavado de vegetales	104
6.6 OBTENCION	105
6.6.1 Generación de dióxido de cloro vía ácido clorhídrico	108

6.7 ENSAYOS CON DIÓXIDO DE CLORO	109
7. OZONIZACION	111
7.1 OBTENCION	115
7.1.1 Ozonizadores	116
7.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OZONIZACION	120
8. PEROXIDO DE HIDROGENO H ₂ O ₂	122
9. DESINFECCION DEL AGUA CON RADIACIÓN ULTRA VIOLETA	125
9.1 MECANISMOS DE DESINFECCION	127
9.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LA RADIACION U.V	129
9.3 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE LA TECNOLOGIA U.V	130
10. DESINFECCION MEDIANTE IONIZACION	132
10.1 CAPACIDAD DE DESINFECCION	133
10.2 UTILIZACION	134
11. DESINFECCION CON PERMANGANATO DE POTASIO	135
11.1 OXIDACION Y ELIMINACIÓN DEL HIERRO Y MANGANESO DISUELTOS	138
12. USO DE LA PLATA COMO DESINFECTANTE	139
13. DESINFECCION CON YODO	140
14. TABLETAS DESINFECTANTES	141
15. DESINFECCION DEL AGUA MEDIANTE LA ENERGIA SOLAR	143
15.1 QUE ES SODIS?	144
15.2 COMO FUNCIONA	145
15.3 LIMITACIONES DEL SODIS	146
16. DESINFECCION Y TECNICA USANDO UNA MEZCLA	

DE GASES OXIDANTES GENERADOS IN SITU MOGGO	147
16.1 MOGGO; MEZCLA DE GASES OXIDANTES GENERADOS IN SITU	148
16.2 EFECTIVIDAD DE LA DESINFECCION	149
16.3 DESCRIPCION DE UNA UNIDAD DE DESINFECCION MOGGO	150
16.4 OBTENCION DEL DESINFECTANTE RESIDUAL CORRECTO	152
16.5 ASPECTOS SANITARIOS DEL AGUA DESINFECTADA	153
16.6 EN UN FUTURO	154
17. DESINFECCION DE EMERGENCIA	156
17.1 METODOS DE DESINFECCION DE EMERGENCIA	157
17.1.1 Ebullición	157
17.1.2 Tratamiento químico	157
17.1.3 Métodos de cloro	158
17.1.3.1 Lejía (cloro liquido, blanqueador)	158
17.1.3.2 Hipoclorito de calcio granular	159
17.1.3.3 Tabletas de cloro	159
17.1.4 Métodos de yodo	159
17.1.4.1 Tintura de yodo	159
17.1.4.2 Tabletas de yodo	160
18. MANGATEX	161
18.1 MANGANATO DE POTASIO, OXIDANTE Y DESINFECTANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS	161
18.1.1 Descripción del producto	161
18.1.2 Aplicación del producto en tratamiento de aguas	163

18.1.3 Oxidación de materia orgánica	164
18.1.4 Eliminación de hierro, manganeso y sulfuro	166
18.1.5 Usos y formas de aplicación	167
18.1.6 Dosis estimadas de aplicación	167
19. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	168
19.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ALGUNOS DESINFECTANTES	168
19.2 FACTORES QUE ORIGINAN CIERTOS FRACASOS EN EL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE	169
BIBLIOGRAFIA	172

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Dosis de oxidante generalmente empleado en el tratamiento de agua, requerida para oxidar el hierro y manganeso	12
Tabla 2. Contaminantes, niveles y posibles efectos a la salud	23
Tabla 3. Tipos y efectos de los principales contaminantes del agua	40
Tabla 4. Enfermedades comunes transmitidas a seres humanos A través de beber agua contaminada	41
Tabla 5. Productos de la cloración del amonio	56
Tabla 6. Posibles productos de oxidación de amonio por cloro	56
Tabla 7. Compuestos organoclorados hallados como resultado De la cloración de aguas residuales	56
Tabla 8. Propiedades de algunos oxidantes	75
Tabla 9. Tiempo y pH para la conversión de cloro en cloramina	83
Tabla 10. Concentración de cloro libre y combinado a diferente pH después de un determinado tiempo	85
Tabla 11. Formación de productos secundarios con diferentes tipos de oxidantes	98
Tabla 12. Solubilidad del ozono	113
Tabla 13. Límites de exposición del ozono	121
Tabla 14. Potenciales de oxidación de diferentes oxidantes	123
Tabla 15. Dosis de cloro para la desinfección de emergencia	158
Tabla 16. Ventajas y desventajas de los distintos productos empleados en la oxidación / desinfección	168

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Generación electrolítica de desactivadores de Microorganismos	42
Figura 2. Tiempo para la desinfección, utilizando diversas dosis de cloro a diferente pH	52
Figura 3. Porcentajes de HOCl y OCl ⁻ para distintos valores de pH	60
Figura 4. Distribución de HOCl y OCl ⁻ en función del pH	63
Figura 5. Eficacia de algunos desinfectantes ante E-Coli	65
Figura 6. Punto de quiebre	68
Figura 7. Cinética de reacción del cloro	72
Figura 8. Especies de cloraminas en función del pH	81
Figura 9. Relación cloro amoniaco en el punto de quiebre	82
Figura 10. Tiempo de permanencia de cloro residual y cloro libre	86
Figura 11. Demanda de ClO ₂	110
Figura 12. Comportamiento de coliformes ante radiación U.V Y temperatura	145

RESUMEN

TITULO: DESINFECTANTES Y NUEVAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE*

AUTOR: HERSON ALEXANDER OCHOA BARAJAS¹

PALABRAS CLAVES: Desinfectantes, potabilización, cloro, cloraminas, ozono, peroxido de hidrogeno.

DESCRIPCIÓN

En el proceso de potabilización del agua, se ven involucradas ciertas etapas como son: coagulación, floculación y desinfección entre otras. La desinfección del agua conlleva a utilizar ciertos métodos y sustancias, las cuales poseen diversas características. Cada desinfectante posee un determinado campo de acción, el cual esta influenciado por las diversas características físicas y químicas del agua las cuales son: temperatura, pH, conductividad y turbidez entre otras. Dependiendo de estas características se puede escoger el tipo indicado de desinfectante que puede llegar a usarse en determinada agua.

El cloro es y ha sido el desinfectante más utilizado en el mundo debido a su fácil obtención y poder bactericida, pero tiene una desventaja la cual consiste en la formación de subproductos como trihalometanos y compuestos organoclorados entre otros.

En el presente documento se muestran las características más importantes de algunas sustancias y métodos utilizados en el tratamiento del agua como son: cloro, cloraminas, dióxido de cloro, ozono, peróxido de hidrógeno, radiación ultravioleta, ionización y yodo entre otros. Teniendo en cuenta el factor económico y la facilidad de obtención de estas sustancias, se puede llegar a encontrar el procedimiento más adecuado. En este trabajo se llego a la conclusión de que el ozono es el desinfectante que brinda mejores resultados por su pureza, poder desinfectante y fácil obtención.

* Trabajo de investigación

¹ Facultad de ciencias, Especialización Química Ambiental, PEÑA ORTIZ Gonzalo

SUMMARY

TITLE: DISINFECTANTS AND NEW TECHNOLOGIES USE IN THE DRINKING WATER TREATMENT*

AUTHOR: HERSON ALEXANDER OCHOA BARAJAS**

KEYS WORDS: Disinfectants, drinking water, chlorine, chloramines, ozone, hydrogen peroxide.

DESCRIPTION

In the process of drinking water, certain stages are involved like: coagulation, flocculation and disinfection among others. The water disinfection lead to use determined methods and substances, it has diverse characteristics. Each disinfectant possesses a certain action field, it is influenced by the diverse physical and chemical water characteristics they are: temperature, pH, conductivity and muddy among others. These characteristics help us to choose the suitable type of disinfectant that can end up being used in certain water.

The chlorine is and it has been the disinfectant more used at world due to its easy obtaining and power germicide, but it has a disadvantage: the formation of by-products like trihalomethanes and organochlorine compounds among others.

This document shown the most important characteristics in some substances and methods used in the water treatment like this: chlorine, chloramines, chlorine dioxide, ozone, peroxide of hydrogen, ultraviolet radiation, ionization and iodine among others. Keeping in mind the economic factor and the easiness of obtaining of these substances, you can end up finding the most appropriate procedure. In this work you reaches the conclusion that the ozone is the disinfectant that offers better results for its purity, to be able to disinfectant and easy obtaining.

* Investigation work.

** Faculty of sciences, Chemistry environmental specialization, PEÑA ORTIZ Gonzalo

INTRODUCCIÓN

La vida cotidiana esta inmersa en un gran sistema de interrelaciones, al que muchas de las veces denominamos medio ambiente, es así que el hombre participa en este a través de sus actividades. Al mismo tiempo, existe en ese medio ambiente un subsistema al que denominamos natural, a partir del cual el hombre con sus actividades aprovecha para sacar materias primas o productos que le permitan desarrollar sus funciones y sobrevivir. Por tanto, el medio ambiente es un producto de las relaciones entre subsistemas: naturaleza, economía y población, por lo que su funcionamiento se inicia cuando el hombre en su actividad, y principalmente en el proceso de producción material, ejerce impactos en la naturaleza de múltiples formas y con variada intensidad, lo que provoca en el medio natural toda clase de cambios que en la mayor parte de los casos tienen carácter de recuperación lenta o incluso irreversibles, por lo que al mismo tiempo se generan consecuencias sobre la sociedad.

Estas consecuencias no solamente se dan en el medio natural a través de observar los procesos erosivos inducidos por las malas prácticas de la agricultura o ganadería, la generación de smog en los grandes centros urbanos, la imposibilidad de usar el agua de ciertos lagos o ríos contaminados, etc., se dan en diferentes ámbitos tanto el natural, como el económico y social; y al mismo tiempo

pueden ser de carácter primario y secundario. Para el caso de las consecuencias económicas primarias pueden ser, entre otras: la baja productividad, la mala calidad de los productos que provocan como consecuencias secundarias los cambios de especialización de la economía y los problemas en el uso de los recursos naturales.

Como consecuencias sociales primarias se tiene el deterioro de la salud pública, el incremento de la morbilidad de la población y el deterioro del modo de vida. Las consecuencias sociales secundarias se pueden apreciar en las modificaciones que sufre la estructura demográfica, las migraciones, las enfermedades sociales (suicidios, homicidios, robos), entre otros. Es así, que la denominada crisis ambiental que actualmente padece la humanidad es el resultado del estilo de desarrollo en el cual se encuentran inmersos, por lo que los denominados agentes perturbadores de origen sanitario son aquellos que están relacionados dentro de esta perspectiva ambiental y donde se ven reflejadas las consecuencias de las interrelaciones que se establecen entre el medio natural y el social. Los agentes perturbadores de origen sanitario que se dan como consecuencias de estas interrelaciones son los siguientes(32):

- ✧ Contaminación
- ✧ Enfermedades, epidemias
- ✧ Plagas
- ✧ Erosión
- ✧ Desertificación

La contaminación es la situación caracterizada por la presencia en el medio ambiente de una o más sustancias en cantidades superiores a los límites humanamente tolerables, en tal forma combinados que atendiendo a sus características y duración, en mayor o menor medida, causan un desequilibrio ecológico y dañan la salud y el bienestar del hombre.

Se define como contaminante a toda materia, sustancia o sus combinaciones, compuestos o derivados químicos y biológicos, humos, gases, polvos, cenizas, bacterias, residuos y desperdicios, así como a toda forma de energía (calor, radiactividad, ruido), que al entrar en contacto con el aire, agua o suelo altera o modifica su composición y condiciones naturales.

La contaminación ambiental generalmente se origina como consecuencia del crecimiento y desarrollo incontrolado de los centros de población, turísticos e industriales, el correlativo incremento de las fuentes de contaminación, el deterioro de los recursos naturales y el impacto de algunos fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, tolvánicas, fugas tóxicas, etc.

El agua es un compuesto que químicamente está representado por la fórmula H_2O . El agua no es pura en su estado natural dado que contiene pequeñas cantidades de sales minerales disueltas y otras sustancias o elementos que contribuyen a darle gusto. El agua es el medio líquido universal para la materia viva y, por consiguiente, es también propensa a la contaminación por organismos vivos que producen enfermedades en el hombre.

La calidad del agua puede definirse como una aptitud para los usos beneficiosos como bebida del hombre y de los animales, para soporte de una vida marina sana, para riego de la tierra y para recreación. La materia extraña podrá ser materia inerte, como los compuestos de plomo o mercurio, o materia viva, como los microorganismos. La contaminación del agua es la adición a la misma de materia extraña indeseable que deteriora su calidad, por lo que los medios de contaminación son aquellos que implican procesos de suspensión, disolución, y un cambio bioquímico que deterioran la mencionada calidad y que son procesos complejos que sólo pueden tener lugar en el agua dadas sus características(32).

El empleo de aguas contaminadas eleva considerablemente los requerimientos y costos de potabilización para adecuar el recurso a los usos domésticos e industrial, aumentando los peligros en la salud pública. La contaminación de los recursos acuíferos repercute en la disminución de las actividades productivas e influye de manera negativa en el desarrollo turístico de algunas zonas de interés. Teniendo en cuenta la problemática anteriormente expuesta, se procedió a elaborar una revisión bibliográfica del tipo de sustancias utilizadas en el proceso de desinfección del agua, la cual se expone a continuación.

1. DESINFECCIÓN

De entrada, es necesario diferenciar entre desinfección y esterilización. La primera se refiere a la desactivación de organismos que causan enfermedades, mientras que la segunda se refiere a la desactivación de todos los microorganismos presentes en el medio de interés. Los mecanismos para esta desactivación pueden afectar a la pared celular (ruptura, modificación de propiedades), a los componentes internos de la célula (modificación del protoplasma o de los ácidos nucleicos, alteración de la síntesis de proteínas, inducción de procesos redox anormales), o a la actividad enzimática (1).

En la actualidad se conocen bastante bien los procesos y fenómenos implicados en la desinfección del agua, que en definitiva se dirigen a la destrucción de organismos perjudiciales, es decir, los procesos de desinfección se han empleado con el fin de destruir o inactivar los organismos productores de enfermedades. La desinfección no implica necesariamente la destrucción completa de todos los organismos vivos, es decir, los procesos de desinfección del agua no siempre acaban en el punto de esterilización (la esterilización se centra casi exclusivamente en la práctica médica). En relación con la desinfección del agua, los organismos productores de enfermedades, incluyen las bacterias, una gran variedad de virus, protozoos intestinales y algunos microorganismos. Otros organismos que podemos considerar más bien molestos desde el punto de vista

estético que de causantes de enfermedades, son también afectados en los procesos de desinfección.

En lo que respecta a la desinfección, algunos de los organismos mencionados, incrementan su resistencia al desinfectante al encontrarse rodeados o incrustados en materiales en suspensión, algas, etc., y no quedar disponibles a los desinfectantes químicos. Si en el agua se tiene presencia de materia orgánica y otras sustancias oxidables, quedará disminuida la cantidad de desinfectante disponible para realizar la desinfección(22).

La función principal de la desinfección es la eliminación de microorganismos no deseados en el agua a tratar. Estos microorganismos pueden afectar la salud humana y necesariamente deben ser eliminados si estamos produciendo agua potable. También pueden afectar equipos en los que el agua va a ser utilizada y deben ser eliminados como forma de preservar dichos equipos, mantener la eficiencia de su operación, no disminuir su vida útil, etc.

Los microorganismos más comunes que vamos a encontrar en aguas a tratar son: bacterias, virus, hongos y algas.

En el caso de tratamiento para agua potable, es necesario eliminar toda posibilidad de que ésta sea portadora de enfermedades muy graves del tipo del cólera, tifus, hepatitis B, y otras como la disentería y todas las afecciones intestinales(30).

1.1 DESINFECTANTE IDEAL

Consideraremos desinfectante ideal aquel agente químico o físico que nos asegure una completa destrucción de los microorganismos que nos proponemos eliminar, afectando lo menos posible el agua que estamos tratando, los seres vivos y los equipos que estarán en contacto con ésta, el ambiente y que se obtenga a un costo razonable(30).

Entre otras consideraciones podemos detallar las siguientes(30):

- Debe destruir toda clase y cantidad de microorganismos que puedan introducirse en las aguas que habremos de tratar, en un lapso razonable, dentro de una amplia gama de temperaturas y que no se vea afectado por posibles fluctuaciones en la composición, concentración y condición de las aguas a tratar.
 - En las concentraciones requeridas no debe ser tóxico al hombre y otros seres vivos, y tampoco debe tener sabor.
 - Debe ser aplicable a un costo razonable, seguro, y fácil de almacenar, manipular, transportar y aplicar.
 - Su concentración en el agua debe ser fácil, rápida y automáticamente medible.
- Estos ensayos deben ser exactos, precisos y reproducibles.

- Debe persistir en el agua con una concentración suficiente que asegure un efecto residual.

1.2 CLASIFICACIÓN

En general los desinfectantes pueden ser clasificados en agentes físicos y químicos. Una clasificación con más detalle es la que sigue(30).

1.2.1 Físicos.

1.2.1.1 Calor. Las células vegetativas mueren entre 60-70°C, mientras que las esporas requieren 120°C. A mayor temperatura más rápidamente mueren los microorganismos. Cuanto mayor es el tiempo de contacto mayor es el número de microorganismos que mueren.

En el caso de agua potable, no hay enfermedad que se presente por bacterias formadoras de esporas, por lo que se considera una muy buena práctica hervir el agua durante unos minutos como método de potabilización.

1.2.1.2 Radiación. Cuanto más intensa sea la radiación, más efectiva será la eliminación de microorganismos. Se puede utilizar radiaciones ionizantes o no ionizantes.

Las ionizantes (rayos X y rayos gama) son letales para los microorganismos, pero resulta difícil trabajar con ellas por ser nocivas y caras.

La luz ultravioleta (UV) es una radiación no ionizante y es el agente más común por su fácil y segura manipulación. Se trabaja fundamentalmente en 250 nm de longitud de onda.

1.2.1.3 Filtración. Se puede usar filtros absolutos, lo que resulta útil en el caso de presencia de compuestos lábiles en el medio.

1.2.2 Químicos. Se debe considerar sucesiva o simultáneamente una serie de mecanismos, del tipo de:

a) daño a la pared celular: Cuando la pared celular es dañada, el protoplasma liberado soporta menos el ataque del medio. La lisozima ataca la pared de las bacterias, degradándola. La penicilina impide la síntesis de nueva pared en las células en crecimiento.

b) alteración de la permeabilidad de la membrana: La membrana celular es selectiva y regula el transporte a través de ella. Si se altera la permeabilidad puede haber vaciamiento de la célula.

c) ocupación de centros activos de la membrana celular: Puede haber sustratos análogos a los de algunas enzimas que la enzima confunde y se interrumpe la síntesis.

d) alteración de la característica coloidal de la membrana: Al producirse la coagulación de las proteínas del protoplasma se consigue la muerte celular.

e) inhibición de actividades enzimáticas: Se realiza sobre los grupos sulfhidrilo de las enzimas por parte de metales pesados o por oxidación.

1.2.2.1 Oxidantes. En este caso debe considerarse con mucha atención el hecho de que capacidad oxidante no es sinónimo de capacidad desinfectante ya que hay varios mecanismos en juego, mas allá que el propio potencial redox de la reacción agente - microorganismo.

1) Halógenos (Cl_2 , Br_2 , I_2). La acción del cloro es, principalmente, por oxidación del protoplasma. El yodo es un agente germicida usado bajo forma de solución alcohólica o como yodoformo. Tiene una buena acción contra las esporas. Interacciona con enzimas.

2) Ozono (O_3)

3) Permanganato de potasio (KMnO_4)

4) Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

1.2.2.2 Iones metálicos. Actúan por inhibición de enzimas uniéndose a grupos sulfhidrilos.

1) **Ag⁺**. Es un buen bactericida

2) **Cu₂⁺**. Es un excelente alguicida y se usa frecuentemente cuando hay infección de algas en cursos de agua que van a ser usados para potabilización.

1.2.2.3 Ácidos y álcalis. Se considera que no hay microorganismo que sobreviva por debajo de pH = 3 y por encima de pH = 11.

1.2.2.4 Tensoactivos. Actúan alterando la permeabilidad de la membrana celular. Fundamentalmente son efectivos los catiónicos, si bien todo tenso activo es un buen desinfectante.

1.2.2.5 Alcoholes. El alcohol etílico actúa a concentraciones de 70 a 80%. No es esterilizante. Actúa coagulando las proteínas.

1.2.2.6 Aldehídos. Del tipo de los glutaraldehídos y similares

1.2.2.7 Fenol y sus compuestos. No es muy utilizado, salvo como patrón para evaluar otros agentes microbianos. Actúa alterando la permeabilidad de la membrana celular y por desnaturalización de las proteínas.

Casi todos los desinfectantes mencionados, presentan alguna limitación, que excluyen su aceptación en las operaciones de tratamiento en sistemas y abastecimientos públicos, por ahora y en general, el cloro es el producto más ampliamente utilizado en el proceso de desinfección del agua.

En la tabla (1) se muestran, como ejemplo, las dosis necesarias de varios de los oxidantes/desinfectantes más empleados en el tratamiento del agua, para oxidar el hierro y manganeso(22).

Tabla 1. Dosis de oxidante, generalmente empleado en el tratamiento de agua, requerida para oxidar el hierro y manganeso.

Oxidantes	Hierro (mg/mg Fe ⁺⁺)	Manganeso (mg/mg Mn ⁺⁺)
Cloro	0,62	0,77
Dioxido de Cloro	1,21	2,45
Ozono	0,43	0,88
Permanganato Potásico	0,94	1,92

1.3 FACTORES QUE GOBIERNAN LA TECNOLOGÍA DE LA DESINFECCIÓN

Los factores que gobiernan la tecnología de la desinfección química caen dentro de las siguientes cinco categorías(30):

1) La naturaleza de los organismos que se van a destruir, así como su concentración, distribución y condición en el agua sujeta al tratamiento de desinfección química.

Entre las bacterias entéricas, por ejemplo, la *Escherichia coli*, es más resistente que las demás bacterias patógenas, por lo que es un buen organismo de prueba, ya que detectando su destrucción se puede afirmar que todas las demás ya fueron destruidas. A su vez los virus de la poliomelitis 1 y Coxsackie A2, así como el de la hepatitis infecciosa, son aún más resistentes que *Escherichia coli*. Sin embargo estas son consideraciones que se deben hacer cuando la concentración de los organismos a destruir sea tan alta que se plantee una competencia por el desinfectante.

2) La naturaleza, distribución y concentración de la sustancia desinfectante y de sus productos de reacción en el agua sujeta al tratamiento por desinfección química. En el caso del cloro, como veremos más adelante, las diferentes especies en equilibrio, dependiendo del pH, producen variaciones en el poder desinfectante.

3) La naturaleza y condición del agua que se va a desinfectar. Materia suspendida, materia orgánica, agentes reductores, etc. Pueden ser elementos que compitan con el desinfectante.

4) La temperatura del agua a desinfectar. Todos los desinfectantes aumentan su poder de desinfección con la temperatura.

5) El tiempo de contacto. A mayor tiempo, más amplia es la oportunidad para la destrucción, para iguales concentraciones.

Un examen crítico de estas cinco categorías lleva a la conclusión de que para la desinfección de un agua determinada, los siguientes factores constituyen variables a controlar:

- a) La naturaleza y concentración del agente desinfectante
- b) El grado de agitación
- c) El tiempo de contacto entre organismos y desinfectante

1.4 CINÉTICA DE LA DESINFECCIÓN

1.4.1 Tiempo de contacto. Bajo condiciones ideales, una célula expuesta contiene un solo centro activo, vulnerable a una sola unidad de desinfectante. En este caso la velocidad de destrucción sigue la *LEY DE CHICK*. Esta establece que y , número de organismos destruidos en la unidad de tiempo t , es proporcional a N , número de organismos remanentes, siendo N_0 , el número de organismos inicial, o sea:

$$dy / dt = k (N_0 - y)$$

k es la constante de velocidad de reacción y tiene unidades de $tiempo^{-1}$

Si integramos para $y=0$ a $t=0$ e $y=y$ a $t=t$

$$\ln [(N_0 - y) / N_0] = \ln (N / N_0) = -kt$$

O, lo que es lo mismo:

$$N / N_0 = \exp (-kt)$$

En general no se cumplen las condiciones ideales planteadas y la ley toma la forma de

$$\ln (N / N_0) = -km.t$$

m es una constante que depende del tipo de microorganismo. Esta constante se obtiene empíricamente y está tabulada para diferentes tipos de microorganismos.

1.4.2 Concentración de desinfectante. Para diferentes concentraciones de desinfectante, el comportamiento de la desinfección se puede expresar como:

$$Cn tp = cte$$

C es la concentración del desinfectante y tp es el tiempo que se requiere para lograr la muerte de una proporción determinada de microorganismos (generalmente se toma el 99 %)

Algunos ejemplos: Si usamos HClO como desinfectante y consideramos una mortandad del 99 % se verifican las siguientes relaciones:

Escherichia Coli $C= 0.86$ $tp = 0.24$

Virus Coxsackie A2 $C= 0.86$ $tp = 6.3$

Virus 1 de Poliometitis $C= 0.86$ $tp = 1.2$

Virus Adeno 3 $C0.86$ $tp = 0.098$

Estos son datos que se verifican entre 0 y 6°C.

1.5 NECESIDAD DE LA DESINFECCIÓN

Existe una razón fundamental de salud pública para llevar a cabo la desinfección del agua para el consumo humano: hay más de 25 enfermedades serias que pueden ser transmitidas por el agua de bebida contaminada. La mayoría de estas pueden ser evitadas y la incidencia de todas ellas se puede reducir con un tratamiento apropiado del agua. En los Estados Unidos el tratamiento del agua con una desinfección confiable redujo el cólera y la fiebre tifoidea hasta casi los niveles actuales, mucho antes del desarrollo de vacunas y antibióticos efectivos. El reciente estudio de los doctores D. Bersh y M. Osorio, descrito en su publicación "Estudios de Diarrea en el Quindío" (Colombia 1978-1982)(46), demostró una correlación inversa entre el nivel de cloro residual en el sistema de abastecimiento de agua de las comunidades y la morbilidad por diarrea. En 1982, en Bengala Occidental, India, un proyecto de investigación de la UNICEF, logró una reducción del 80% en la incidencia de la diarrea infantil en un período de 9 meses, con tan solo la adición de cloro a los depósitos de agua potable domésticos. Estos son sólo unos cuantos de los muchos estudios que dan fe de que prácticamente en todo el lugar donde la cloración de los sistemas de abastecimiento de agua ha sido continua y a niveles suficientes, se han obtenido beneficios en la salud(3).

2. EL AGUA POTABLE

Es esencial para cada comunidad contar con un abastecimiento limpio y constante de agua potable. Las personas en las ciudades grandes toman agua frecuentemente que proviene de fuentes de agua superficiales tales como lagos, ríos y embalses. Algunas de estas fuentes están cerca de la comunidad. En otros casos, los proveedores de agua potable obtienen su agua de fuentes ubicadas a varias millas de distancia. En cualquier caso, cuando se analiza de donde proviene el agua potable, es importante considerar no solamente la porción o parte del río o lago que usted puede observar, si no también la cuenca completa. La cuenca es la área de tierra sobre la cual fluye el agua hacia el río, lago o embalse.

En las áreas rurales, es más probable que las personas tomen aguas subterráneas que se bombearon de un pozo. Estos pozos se conectan a acuíferos, los embalses naturales debajo de la superficie terrestre que puede que sean solamente unas pocas millas de ancho, o puede que abarquen las fronteras de varios estados. Igual que el agua superficial, es importante recordarse que las actividades que ocurren a varias millas de distancia de usted, pueden afectar la calidad del agua subterránea(11).

La calidad del agua potable varía de un lugar a otro dependiendo de la condición de la fuente de agua de donde se obtiene y el tratamiento que la misma recibe. Se debe tener una manera de buscar información sobre su agua potable si la misma proviene de un proveedor de agua público (en el caso de la EPA, esta no regula los pozos privados, pero le recomienda a los propietarios de los pozos que realicen pruebas de su agua anualmente). Como en el caso de los EE.UU. Cada proveedor de agua potable debe presentarle a sus clientes un informe anual (algunas veces denominado informe de confianza al consumidor). El informe proporciona datos sobre la calidad del agua potable local incluyendo la fuente de agua, los contaminantes en el agua y como los consumidores se pueden involucrar para proteger el agua potable(9).

2.1 CONTAMINANTES

La contaminación del agua potable se puede dividir en dos grandes categorías: contaminación microbiológica y contaminación química. La contaminación microbiológica provoca efectos agudos (enfermedades infecciosas como cólera, tifus, malaria, fiebre amarilla, síntomas gastrointestinales, etc.). La contaminación química se puede asociar a efectos crónicos como el cáncer, efectos neurológicos o efectos reproductivos.

Los contaminantes químicos se pueden clasificar en grandes grupos como metales, nitratos, pesticidas, isótopos radiactivos, flúor, asbesto y los

subproductos de la cloración generados en el proceso de desinfección para eliminar la contaminación microbiológica.

La cloración del agua genera trihalometanos y otros subproductos con propiedades mutagénicas y cancerígenas en experimentos con animales. Los trihalometanos se han asociado en estudios epidemiológicos con un incremento del riesgo de cáncer de vejiga urinaria(27).

No existe tal cosa como agua pura natural. En la naturaleza toda agua contiene algunas impurezas. A medida que el agua fluye en los arroyos, se estanca en los lagos y se filtra a través de capas de suelo y roca en la tierra, esta disuelve o absorbe las sustancias con las cuales hace contacto. Algunas de estas sustancias son inocuas. De hecho, algunas personas prefieren agua mineral precisamente porque los minerales le dan un sabor agradable. Sin embargo, los minerales a ciertos niveles igual que los químicos elaborados por el hombre se consideran contaminantes que pueden causar mal sabor en el agua y hasta peligrosos.

Algunos contaminantes provienen de la erosión de formaciones de rocas naturales, otros contaminantes son sustancias descargadas de las fábricas, se aplican a terrenos agrícolas, o se usan por parte de los consumidores en sus casas y jardines. Es posible que las fuentes de contaminantes estén en su vecindario o es posible que se encuentren a muchas millas de distancia. Un informe de calidad de agua local le explica cuales contaminantes se encuentran en

su agua potable, el nivel de los mismos y la fuente actual o posible de cada contaminante.

Algunos sistemas de agua subterránea (que obtienen el agua a través de pozos) han establecido programas de protección de áreas inmediatas de pozos de agua potable para evitar que las sustancias contaminen sus pozos. Así mismo, algunos sistemas de agua que utilizan fuentes superficiales tales como los ríos, protegen la cuenca de agua alrededor de su embalse para evitar la contaminación(10).

La EPA establece una meta del Nivel Máximo de Contaminantes en el Agua Potable (MNMC), bajo el cual se producirán unos efectos negativos desconocidos o que no se anticiparon en la salud de las personas y se permitirá un margen adecuado de seguridad. La EPA considera el peligro que corren los grupos de la población más sensible (bebés, niños, personas de edad avanzada y aquellos con problemas del sistema de inmunidad) en cuanto a sufrir diferentes problemas de salud. Estos MNMC están divididos en tres grupos como son: No carcinógenos (no incluye contaminantes microbianos), productos químicos contaminantes (carcinógenos) y contaminantes microbianos. Una vez que se determine el MNMC, la EPA impondrá un estándar aplicable. En la mayoría de los casos el estándar es el Nivel Máximo del Contaminante (NMC) el nivel máximo permitido del contaminante en el agua, el cual llega a cualquier usuario del sistema público de agua(18).

Cuando no exista un método confiable, económica y técnicamente apropiado para medir un contaminante en concentraciones particularmente bajas, se debe

establecer una Técnica de Tratamiento (TT) en vez de un NMC. Una TT es un procedimiento o un nivel del resultado tecnológico aplicable que los sistemas públicos de agua deben seguir para controlar un contaminante. Algunos ejemplos de las reglas de las TT son la Regla de Tratamiento de Agua Superficial (desinfección y filtración) y la Regla de Plomo y Cobre (control óptimo de corrosión)(18).

El Reglamento Nacional Primario de Agua Potable (estándar primario o NPDWR) son los estándares aplicables legalmente a los sistemas públicos de agua. Los estándares primarios protegen la calidad del agua potable mediante la limitación de los niveles de contaminantes específicos que puedan afectar negativamente a la salud pública y que se sabe que existen o puedan existir en el agua. Estos estándares están relacionadas con los Niveles Máximos de Contaminantes o con las Técnicas de Tratamiento.

El Reglamento Nacional Secundario de Agua Potable (estándar secundario o NSDWR, por sus siglas en inglés) es una guía para informar sobre los contaminantes que pueden producir efectos estéticos, como decoloración de la piel o dentadura, o dificultades de sabor, olor y color en el agua potable. La EPA recomienda los estándares secundarios a los sistemas de agua pero no los obliga a cumplir con ellos. Sin embargo, los estados pueden adoptarlos como estándares obligatorios. Esta información se centra en estándares nacionales primarios los cuales se muestran en la tabla (2)(18).

Tabla 2. Contaminantes, niveles y posibles efectos a la salud.

Contaminante	MNMC ¹ (mg/l) ⁴	NMC2 o TT ³ (mg/l) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
Químicos Inorgánicos				
Antimonio	0.006	0.006	Aumento de colesterol en sangre; descenso de azúcar en sangre (aumento de colesterolhemia; hipoglucemia).	Efluentes de refinerías de petróleo; retardadores de fuego; cerámicas; productos electrónicos; soldaduras.
Arsénico	ninguno ⁵	0.05	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales; agua de escorrentía de huertos; aguas con residuos de fabricación de vidrio y productos electrónicos.
Asbestos (fibras >10 micrómetros)	7 millones de fibras por litro (MFL)	7 MFL	Alto riesgo de desarrollar pólipos intestinales benignos.	Deterioro de cemento amiantado (fibrocemento) en cañerías principales de agua; erosión de depósitos naturales.
Bario	2	2	Aumento de presión arterial.	Aguas con residuos de perforaciones; efluentes de refinerías de metales; erosión de depósitos naturales.
Berilio	0.004	0.004	Lesiones intestinales.	Efluentes de refinerías de metales y fábricas que emplean carbón; efluentes de industrias eléctricas, aeroespaciales y de defensa.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales.	Corrosión de tubos galvanizados; erosión de depósitos naturales; efluentes de refinerías de metales; líquidos de escorrentía de baterías usadas y de pinturas.
Cromo (total)	0.1	0.1	Dermatitis alérgica.	Efluentes de fábricas de acero y papel; erosión de depósitos naturales.
Cobre	1.3	Nivel de acción= 1.3; TT6	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de cobre en el agua superara el nivel de acción.	Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos naturales; percolado de conservantes de madera.
Cianuro (como cianuro libre)	0.2	0.2	Lesiones en sistema nervioso o problemas de tiroides	Efluentes de fábricas de acero y metales; efluentes de fábricas de plásticos y fertilizantes
Flúor	4.0	4.0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes manchados	Aditivo para agua para tener dientes fuertes; erosión de depósitos naturales; efluentes de fábricas de fertilizantes y de aluminio.
Plomo	cero	Nivel de acción= 0.015; TT6	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión	Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos naturales.
Mercurio (Inorgánico)	0.002	0.002	Lesiones renales	Erosión de depósitos naturales; efluentes de refinerías y fábricas; lixiviados de vertederos y tierras de cultivo.
Nitrato (medido como nitrógeno)	10	10	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.

Nitrito (medido como nitrógeno)	1	1	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitritos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
Selenio	0.05	0.05	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de dedos de manos y pies; problemas circulatorios.	Efluentes de refinerías de petróleo; erosión de depósitos naturales; efluentes de minas.
Talio	0.0005	0.002	Caída del cabello; alteración de la sangre; trastornos renales, intestinales o hepáticos.	Percolado de plantas procesadoras de minerales; efluentes de fábricas de vidrio, productos
Químicos Orgánicos				
Acilamida	cero	TT7	Trastornos sanguíneos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Se agrega al agua durante el tratamiento de efluentes y de agua de alcantarillado.
Alaclor	cero	0.002	Trastornos oculares, hepáticos, renales o esplénicos; anemia; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Atrazina	0.003	0.003	Trastornos cardiovasculares o del sistema reproductor.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Benceno	cero	0.005	Anemia; trombocitopenia; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas; percolado de tanques de almacenamiento de combustible y de vertederos para residuos.
Benzo(a)pireno	cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Percolado de revestimiento de tanques de almacenamiento de agua y líneas de distribución.
Carbofurano	0.04	0.04	Trastornos sanguíneos, del sistema nervioso o del sistema reproductor.	Percolado de productos fumigados en cultivos de arroz y alfalfa.
Tetracloruro de carbono	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y de otras actividades industriales.
Clordano	cero	0.002	Trastornos hepáticos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Residuos de termiticidas prohibidos.
Clorobenceno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de plantas químicas y de plantas de fabricación de agroquímicos.
2,4-D	0.07	0.07	Trastornos renales, hepáticos o de la glándula adrenal.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Dalapon	0.2	0.2	Pequeños cambios renales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en servidumbres de paso.
1,2-Dibromo-3-cloropropano (DBCP)	cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de productos fumigados en huertos y en campos de cultivo de soja, algodón y piña (ananá).
o-Diclorobenceno	0.6	0.6	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
p-Diclorobenceno	0.075	0.075	Anemia; lesiones hepáticas, renales o esplénicas; alteración de la sangre.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1,2-Dicloroetano	cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1-1-Dicloroetileno	0.007	0.007	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
cis-1, 2-Dicloroetileno	0.07	0.07	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
trans-1,2-Dicloroetileno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.

Diclorometano	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y farmacéuticas.
1-2-Dicloropropano	cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Adipato de di-(2-etilhexilo)	0.4	0.4	Efectos tóxicos generales o dificultades para la reproducción	Efluentes de plantas químicas.
Ftalato de di-(2-etilhexilo)	cero	0.006	Dificultades para la reproducción; trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer	Efluentes de plantas químicas y de fabricación de goma.
Dinoseb	0.007	0.007	Dificultades para la reproducción	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en soja y vegetales.
Dioxina (2,3,7,8-TCDD)	cero	0.00000003	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer	
Diquat	0.02	0.02	Cataratas	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Endotal	0.1	0.1	Trastornos estomacales e intestinales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Endrina	0.002	0.002	Trastornos hepáticos.	Residuo de insecticidas prohibidos.
Epiclorohidrina	cero	TT7	Alto riesgo de cáncer y a largo plazo, trastornos estomacales.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial; impurezas de algunos productos químicos usados en el tratamiento de aguas.
Etilbenceno	0.7	0.7	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de refinerías de petróleo.
Dibromuro de etileno	cero	0.00005	Trastornos hepáticos, estomacales, renales o del sistema reproductor; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refinerías de petróleo.
Glifosato	0.7	0.7	Trastornos renales; dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Heptacloro	cero	0.0004	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Residuos de termiticidas prohibidos.
Heptaclorepóxido	cero	0.0002	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Descomposición de heptacloro.
Hexaclorobenceno	cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refinerías de metales y plantas de agroquímicos.
Hexacloro-ciclopentadieno	0.05	0.05	Trastornos renales o estomacales.	Efluentes de plantas químicas.
Lindano	0.0002	0.0002	Trastornos hepáticos o renales.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en ganado, madera, jardines.
Metoxicloro	0.04	0.04	Dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en frutas, vegetales, alfalfa, ganado.
Oxamil (Vidato)	0.2	0.2	Efectos leves sobre el sistema nervioso.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en manzanas, papas y tomates.
Bifenilos policlorados (PCB)	cero	0.0005	Cambios en la piel; problemas de la glándula timo; inmunodeficiencia; dificultades para la reproducción o problemas en el sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Agua de escorrentía de vertederos; aguas con residuos químicos.
Pentaclorofenol	cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas de conservantes para madera.
Picloram	0.5	0.5	Trastornos hepáticos.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Simazina	0.004	0.004	Problemas sanguíneos.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.

Estireno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de goma y plástico; lixiviados de vertederos.
Tetracloroetileno	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas y empresas de limpieza en seco.
Tolueno	1	1	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de refinerías de petróleo.
Trihalometanos totales (TTHM)	ninguno5	0.10	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso central; alto riesgo de cáncer.	Subproducto de la desinfección de agua potable.
Toxafeno	cero	0.003	Problemas renales, hepáticos o de tiroides; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en algodón y ganado.
2,4,5-TP (Silvex)	0.05	0.05	Trastornos hepáticos.	Residuos de herbicidas prohibidos.
1,2,4-Triclorobenceno	0.07	0.07	Cambios en glándulas adrenales.	Efluentes de fábricas de textiles.
1,1,1-Tricloroetano	0.20	0.2	Problemas circulatorios, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
1,1,2-Tricloroetano	3	5	Problemas hepáticos, renales o del sistema inmunológico.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Tricloroetileno	cero	5	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
Cloruro de vinilo	cero	2	Alto riesgo de cáncer.	Percolado de tuberías de PVC; efluentes de fábricas de plásticos.
Xilenos (total)	10	10	Lesiones del sistema nervioso.	Efluentes de refinerías de petróleo; efluentes de plantas químicas.
Radionucleidos				
Emisores de partículas beta y de fotones.	ninguno5	4 milirems por año (mrem/año)	Alto riesgo de cáncer.	Desintegración radiactiva de depósitos naturales y artificiales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como fotones y radiación beta.
Actividad bruta de partículas alfa	ninguno5	15 picocuries por litro (pCi/l)	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como radiación alfa.
Radio 226 y Radio 228 (combinados)	ninguno5	5 pCi/l	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales.
Microorganismos				
Giardia lamblia	cero	TT8	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Desechos fecales humanos y de animales.
Conteo de placas de bacterias heterotróficas (HPC)	N/A	TT8	El HPC no tiene efecto sobre la salud; es sólo un método analítico usado para medir la variedad de bacterias comúnmente encontradas en el agua. Cuanto menor sea la concentración de bacterias en el agua potable, mejor mantenido estará el sistema.	Con el HPC se determinan las diversas bacterias que hay en forma natural en el medio ambiente.
Legionella	cero	TT8	Enfermedad de los legionarios, un tipo de neumonía ⁹ .	Presente naturalmente en el agua; se multiplica en los sistemas de calefacción.
Coliformes totales (incluye coliformes fecales y E. coli)	cero	5.0%10	Por sí mismos, los coliformes no constituyen una amenaza para la salud; su determinación se usa para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas ¹¹ .	Los coliformes se presentan naturalmente en el medio ambiente; los coliformes fecales y la E. coli provienen de heces fecales de humanos y de animales.

Turbidez	N/A	TT8	La turbidez es una medida del enturbiamiento del agua. Se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficacia de la filtración (por ejemplo, para determinar si hay presentes organismos que provocan enfermedades). Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos causantes de enfermedades, como por ejemplo, virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, retortijones, diarrea y dolores de cabeza asociadas.	Agua de escorrentía por el terreno.
Virus (entéricos)	cero	TT8	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Heces fecales de humanos y de animales.

Notas:

1. Meta del Nivel Máximo del Contaminante (MNMC) Es el nivel de un contaminante en el agua potable por debajo del cual no se conocen o no se esperan riesgos para la salud. Los MNMC permiten contar con un margen de seguridad y no son objetivos de salud pública obligatorios.
2. Nivel Máximo del Contaminante (NMC) Es el máximo nivel permitido de un contaminante en agua potable. Los NMC se establecen tan próximos a los MNMC como sea posible, usando para ello la mejor tecnología de tratamiento disponible y teniendo en cuenta también los costos. Los NMC son normas obligatorias.
3. Técnica de Tratamiento (TT) Proceso obligatorio, cuya finalidad es reducir el nivel de un contaminante dado en el agua potable.
4. Las unidades se expresan en miligramos por litro (mg/l) a menos que se indique otra cosa.

5. Los MNMC se establecieron luego de la Enmienda de 1986 a la Ley de Agua Potable Segura. El estándar para este contaminante se fijó antes de 1986. Por lo tanto, no hay MNMC para este contaminante.
6. El plomo y el cobre se regulan mediante una Técnica de Tratamiento que exige la implementación de sistemas que controlen el poder corrosivo del agua. El nivel de acción sirve como un aviso para que los sistemas de agua públicos tomen medidas adicionales de tratamiento si los niveles de las muestras de agua superan en más del 10 % los valores permitidos. Para el cobre, el nivel de acción es 1.3 mg/l y para el plomo es 0.015mg/l.
7. Todos y cada uno de los sistemas de agua deben declarar al estado, por escrito, que si se usa acrilamida y/o epiclorhidrina para tratar agua, la combinación (o producto) de dosis y cantidad de monómero no supera los niveles especificados, a saber: acrilamida = 0.05% dosificada a razón de 1 mg/l (o su equivalente); epiclorohidrina = 0.01% dosificada a razón de 20 mg/l (o su equivalente).
8. La Regla de Tratamiento de Agua de Superficie requiere que los sistemas que usan agua de superficie o subterránea bajo influencia directa de agua de superficie, (1) desinfecten el agua y (2) filtren el agua o realicen el mismo nivel de tratamiento que aquellos que filtran el agua. El tratamiento debe reducir los niveles de *Giardia lamblia* (parásito) en un 99.9% y los virus en un 99.99%. La *Legionella* (bacteria) no tiene límite, pero la EPA considera que si se inactivan la *Giardia* y los virus, la *Legionella* también estará controlada. En ningún momento la turbidez (enturbiamiento del agua) puede superar las 5 unidades nefelométricas de turbidez ("NTU") [los

sistemas filtrantes deben asegurar que la turbidez no supera 1 NTU (0.5 NTU para filtración convencional o directa) en al menos el 95% de las muestras diarias de cualquier mes]; HPC- no más de 500 colonias por mililitro.

9. La Enfermedad de los Legionarios se produce cuando las personas susceptibles inhalan un aerosol que contiene *Legionella*, no cuando se bebe agua que contiene *Legionella*. (Las duchas, grifos de agua caliente, jacuzzis y equipos de enfriamiento, tales como torres de enfriamiento y acondicionadores de aire, producen aerosoles). Algunos tipos de *Legionella* pueden provocar un tipo de neumonía llamada Enfermedad de los Legionarios. La *Legionella* también puede provocar una enfermedad mucho menos grave llamada fiebre Pontiac. Los síntomas la fiebre Pontiac pueden incluir: dolores musculares, cefaleas, tos, náuseas, mareos y otros síntomas.
10. En un mes dado, no pueden detectarse más de 5.0% de muestras con coliformes totales positivas. (Para sistemas de agua en los que se recogen menos de 40 muestras de rutina por mes, no puede detectarse más de una muestra con coliformes totales positiva). Toda muestra que presente coliformes totales debe analizarse para saber si presenta *E. coli* coliformes fecales, a fin de determinar si hubo contacto con heces fecales humanas o de animales (coliformes fecales y *E. coli* son parte del grupo de coliformes totales).
11. Coliformes fecales y *E. coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los

microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos(19).

2.2 TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR EL AGUA

Cuando un proveedor de agua obtiene el agua no tratada de un río o embalse, regularmente el agua contiene suciedad y pequeños pedazos de hojas y otras materias orgánicas además de pequeñas cantidades de ciertos contaminantes. Cuando el agua llega a la planta de tratamiento, los proveedores de agua añaden a menudo químicos al agua denominados coagulantes. Estos reaccionan con el agua a medida que fluye lentamente a través de tanques para que las partículas y otros contaminantes formen coágulos que se depositan en el fondo. Entonces, esta agua usualmente fluye a través de un filtro que extrae los contaminantes más pequeños como virus y *Giardia*.

Casi toda el agua subterránea se filtra a medida que pasa a través de capas de tierra hacia dentro de embalses subterráneos conocidos como acuíferos. Generalmente, el agua que los proveedores bombean de los pozos contiene menos materiales orgánicos que las aguas superficiales y es posible que no

necesite alguno o ningún tratamiento como el descrito en el párrafo anterior. La calidad del agua dependerá de las condiciones locales.

El tratamiento más común para potabilizar el agua, el cual se considera por muchas personas como el avance científico más importante del siglo 20, es la desinfección. La mayoría de los proveedores de agua añaden cloro u otros desinfectantes para eliminar bacterias y otros gérmenes.

De acuerdo a la calidad de la fuente de agua, los proveedores de agua usan otros tratamientos como se requieran. Por ejemplo, los sistemas cuyas aguas están contaminadas con químicos orgánicos pueden tratar su agua con carbón activado, el cual absorbe o atrae los químicos disueltos en el agua(12).

Es posible que las personas que tienen VIH/SIDA, están bajo tratamiento de quimioterapia, toman esteroides o por cualquier otra razón poseen un sistema inmune débil, sean más susceptibles a contaminantes microbianos en el agua potable. Si usted o alguien que usted conoce se encuentra dentro de alguna de estas categorías, consulte a su proveedor de cuidado de la salud para averiguar si necesita tomar precauciones especiales, tal como hervir el agua.

Particularmente, los niños pequeños son susceptibles a los efectos de niveles altos de ciertos contaminantes incluyendo nitrato y plomo. Para evitar la exposición al plomo, se debe utilizar el agua fría del grifo para hacer la fórmula de bebé, tomar y cocinar, y dejar que el agua corra por un minuto o más si el grifo no se ha abierto por las pasadas seis horas o más. En el caso de que el proveedor

de agua notifique sobre niveles altos de nitrato en el agua y se tengan niños menores de seis meses de edad, consultar con el proveedor del cuidado de la salud. Es posible que se desee buscar una fuente de agua alterna que contenga niveles menores de nitrato para el niño(13).

2.2.1 Organismos indicadores de la contaminación. Generalmente la concentración de microorganismos patógenos es mucho menor que la concentración total de microorganismos.

Constituye una práctica habitual determinar la concentración de microorganismos patógenos como análisis rutinario en el control de aguas, fundamentalmente cuando esta va a estar destinada a uso humano o cuando el proceso o servicio donde va a ser utilizada específica agua potable. Excepto en circunstancias muy particulares, alcanza con encontrar evidencia indirecta de la presencia de patógenos, a través de la determinación de aquellos que reciben el nombre de organismos indicadores. El grupo que mejor se adapta a estas características es el grupo de las *bacterias coliformes*.

Estas tienen su hábitat primario en el conducto intestinal de los seres humanos y son, por lo tanto, el mejor indicador de la contaminación fecal del agua y de la posible presencia de parásitos intestinales y de microorganismos patógenos(30).

Está perfectamente demostrado que las bacterias responsables de las enfermedades hídricas (tifoidea, cólera, disentería, etc.) llegan al agua a través de

las descargas intestinales de personas enfermas o portadores sanos, por lo tanto un método sensible que nos determine contaminación por descargas intestinales, sin duda será un método para determinar contaminación por ese grupo de patógenos. Si se establece presencia de contaminación cloacal, solo es cuestión de tiempo que se declare epidemia de cólera, tifoidea u otros(30).

Los organismos indicadores deben satisfacer estas condiciones(30):

1) Deben estar perfectamente asociados a la presencia de patógenos, de tal manera que su detección indique la presunción de la existencia de patógenos en el agua objeto de estudio.

2) Deben reaccionar, respecto al medio acuático natural y a los procesos de tratamiento, incluyendo la desinfección, en forma similar a los patógenos presentes.

3) Deben ser identificables mediante procedimientos analíticos simples que proporcionen la información deseada, rápida y económicamente.

4) Deben encontrarse siempre en un número mucho mayor que los patógenos, ya que van a constituir medida sensible de la posible presencia de estos.

5) Deben prestarse a la evaluación numérica y a una distinción cuantitativa.

El grupo de bacterias coliformes reúne estas características y no sólo incluye a los organismos que se generan en el tubo intestinal de los seres de sangre caliente

(coli fecales, principalmente la *Escherichia coli*), sino también a los organismos provenientes del suelo y de la vegetación (*Aerobacter aerogenes*, etc.)

Definiremos como grupo coliforme aquel que incluye todas las bacterias aeróbicas o facultativas, con forma de bastones. No formadoras de esporas, que fermentan la lactosa, con producción de gas a 35 °C luego de 48 horas de incubación(30).

2.2.2 Problemática con el *Cryptosporidium*. El *Cryptosporidium* es un parásito que se encuentra comúnmente en lagos y ríos, especialmente cuando el agua está contaminada con aguas residuales y desechos de animales. Este parásito es muy resistente a la desinfección e incluso un sistema de tratamiento de aguas bien operado no puede asegurar que el agua potable esté libre completamente de *Cryptosporidium*. Los estándares de agua potable actualmente establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), no fueron diseñados específicamente para matar o asegurar la remoción de *Cryptosporidium*. Muchos sistemas grandes de agua potable ya toman acción voluntaria para controlar mejor el *Cryptosporidium* y otros contaminantes microbiológicos. La EPA continúa haciendo investigaciones sobre contaminantes microbiológicos que se utilizarán para determinar las prioridades del programa de agua potable, incluyendo el establecer estándares futuros y reevaluar los existentes.

El *Cryptosporidium* ha causado varios brotes de enfermedades hídricas gastrointestinales, con síntomas que incluyen diarrea, náusea y/o dolor de

estómago. Individuos con el sistema severamente inmuno comprometido (es decir, con inmunodeficiencia severa) son más propensos a tener síntomas intensos y persistentes que las personas saludables. Además, el *Cryptosporidium* ha sido un contribuyente en la muerte de algunas personas con inmunodeficiencia. Podemos incluir entre los individuos con graves problemas inmunológicos aquellos con VIH/SIDA, pacientes con cáncer y transplantes que toman medicinas inmuno supresivas e individuos que han nacido con un sistema inmunológico debilitado(14).

2.2.2.1 Trasfondo. Los datos existentes no son adecuados para determinar cómo la gente se infecta. Por ejemplo, no se conoce la importancia que tiene el agua potable si la comparamos con otras fuentes posibles de *Cryptosporidium*, como entrar en contacto con los excrementos de personas o animales infectados, relaciones sexuales donde la persona se exponga a excrementos, comer alimentos infectados o ingiriendo accidentalmente agua contaminada.

Por consiguiente, en la ausencia de un brote de enfermedad, no existe suficiente información para determinar si un individuo inmuno comprometido corre mayor peligro que el público en general ante la cryptosporidiosis hídrica. Incluso un bajo nivel de *Cryptosporidium* en el agua, puede ser preocupante para los individuos inmuno comprometidos, ya que la enfermedad puede amenazar su vida(14).

Aunque no es suficiente la información que la EPA y el CDC tienen para recomendar que las personas severamente inmuno comprometidas tomen precauciones extremas con relación al agua potable, los individuos que deseen

tomarlas para evitar cryptosporidiosis hídrica pueden hervir el agua durante un minuto ya que es la forma más eficaz de eliminar el *Cryptosporidium*. En vez de hervir el agua, la gente puede seguir las siguientes medidas:

a) Filtro en el lugar de uso (filtro para uso personal, filtro para grifo casero).

Solamente se debe considerar los filtros en el lugar de uso que eliminan partículas de un micrómetro o menos en diámetro. Entre los filtros en esta categoría que pueden eliminar mejor el *Cryptosporidium* se encuentran aquellos que utilizan osmosis inversa, los llamados "Absolute" de un micrómetro o los que están certificados por la NSF International (Fundación Sanitaria Nacional) bajo el estándar 53 de eliminación de quistes. La medida de un micrómetro nominal no tiene un estándar y es posible que muchos filtros en esta categoría no eliminen el *Cryptosporidium*. Como con todos los filtros, la gente debe seguir las instrucciones del fabricante para utilizarlos y cambiarlos. El agua tratada con filtros en el lugar de uso que cumplen con el criterio anterior puede que no esté libre de organismos más pequeños que el *Cryptosporidium*, los cuales también podrán presentar un peligro de salud para los individuos severamente inmunocomprometidos(14).

b) Agua embotellada. Muchas marcas (pero no todas) de agua embotellada pueden ser otra opción en vez de hervir el agua que sale del grifo. El origen de la procedencia del agua, los tipos de microorganismos en esa agua y el tratamiento de la misma antes de ser embotellada varía considerablemente entre las

compañías embotelladoras e incluso entre las marcas de agua producidas por la misma empresa. Por consiguiente, un individuo no debe suponer que toda agua embotellada está libre de *Cryptosporidium*. El agua embotellada que viene de pozos y de manantiales protegidos tienen menos posibilidad de ser contaminadas por este parásito que el agua embotellada del agua potable municipal procedente de fuentes menos protegidas, tales como ríos y lagos. Cualquier agua embotellada tratada por medio de la destilación u osmosis inversa antes del embotellamiento garantiza la eliminación del *Cryptosporidium*. El agua que pasa por un filtro comercial que cumple con el criterio anterior del dispositivo en el punto de uso antes del embotellamiento proporcionará casi el mismo nivel de eliminación del *Cryptosporidium* que la destilación o la osmosis inversa. El agua embotellada que cumpla con el criterio anterior puede que no esté libre de organismos que no sean el *Cryptosporidium* y que puedan presentar un peligro para la salud en individuos severamente inmunocomprometidos.

Los métodos de análisis actuales no pueden determinar con exactitud si el *Cryptosporidium* que se ha detectado en el agua potable está vivo o si puede infectar a los humanos. Además, el método actual requiere, con frecuencia, varios días para obtener resultados y para entonces el agua analizada ya ha sido utilizada por el público y ya no se encuentra en las tuberías del agua de la comunidad(14).

2.3 EFECTOS SOBRE LA SALUD DEBIDO A LOS CONTAMINANTES EN EL AGUA

Desde 1974, la EPA ha establecido estándares de seguridad nacionales para más de 80 contaminantes que se pueden encontrar en el agua potable y presentan un riesgo a la salud humana(16).

Estos contaminantes se pueden dividir en dos grupos de acuerdo a los efectos a la salud que pudiesen causar.

Los efectos agudos: ocurren dentro de unas horas o días posterior al momento en que la persona consume un contaminante. Aunque casi todos los contaminantes pudiesen tener un efecto agudo si el mismo se consume en niveles extraordinariamente altos en el agua potable, los contaminantes más probables que causen efectos agudos son las bacterias y virus, si los mismos se encuentran en niveles suficientemente altos. La mayoría de los cuerpos de las personas pueden combatir estos contaminantes microbianos de la misma forma que combaten los gérmenes y típicamente estos contaminantes agudos no tienen efectos permanentes. No obstante le pueden causar enfermedades a las personas y pueden ser peligrosos o fatales para una persona que posea un sistema inmune débil debido a VIH/SIDA, quimioterapia, uso de esteroides o por cualquier otra razón(15).

Los efectos crónicos: ocurren después que las personas consumen un contaminante a niveles sobre los estándares de seguridad de EPA durante muchos años. Los contaminantes en el agua potable que pudiesen causar efectos

crónicos son los químicos (tales como solventes y plaguicidas), radio nucléidos (tal como el radio) y minerales (tal como el arsénico). Entre los ejemplos de efectos crónicos de los contaminantes del agua potable, están el cáncer, problemas del hígado o riñones o dificultades en la reproducción(15).

En las tablas 3 y 4 podemos observar los tipos y efectos causados por los principales contaminantes del agua, así como también las enfermedades mas comunes transmitidas a través del agua contaminada(32)(33).

Tabla 3. Tipos y efectos de los principales contaminantes del agua

TIPO DE CONTAMINANTE	CARACTERÍSTICAS
Agentes patógenos (o que causan enfermedades)	Bacterias, virus, protozoarios y gusanos parásitos que entran en el agua provenientes del drenaje doméstico y los desechos animales.
Desechos que requieren oxígeno	Desechos orgánicos que pueden ser descompuestos por las bacterias aeróbicas, que a su vez usan oxígeno para biodegradarlos. Poblaciones grandes de bacterias soportadas por estos desechos pueden agotar el gas oxígeno disuelto en el agua. Sin el oxígeno suficiente mueren los peces y otras formas de vida acuática.
Sustancias químicas inorgánicas solubles en el agua	Acidos, sales y compuestos de metales tóxicos, como mercurio y plomo. Los niveles altos de dichos sólidos disueltos pueden hacer al agua impropia para beber, dañar a los peces y otra vida acuática, deprimir los rendimientos agrícolas y acelerar la corrosión del equipo que usa agua.
Nutrientes vegetales inorgánicos	Nitratos y fosfatos solubles en agua que pueden ocasionar el crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas, que después mueren y se descomponen, agotando el oxígeno disuelto en el agua y dando muerte a los peces. Los niveles excesivos de nitratos en el agua para beber, pueden reducir la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre y quitar la vida a los niños menores de tres meses.
Sustancias químicas orgánicas	Petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, solventes, limpiadores, detergentes y muchos otros productos químicos hidrosolubles y no hidrosolubles que amenazan la salud humana y dañan a los peces y otra vida acuática.

Sedimento o materia suspendida	Partículas insolubles del suelo y otros materiales sólidos inorgánicos y orgánicos que llegan a quedar en suspensión en el agua y que en términos de masa total son la mayor fuente de contaminación del agua. La materia suspendida en el agua la enturbia, reduce la aptitud de algunos organismos para encontrar alimento, reduce la fotosíntesis por plantas acuáticas, altera las redes alimenticias acuáticas y transporta plaguicidas, bacterias y otras sustancias nocivas. El sedimento del fondo destruye los sitios de alimentación y desove de peces, obstruye y rellena lagos, estanques o embalses artificiales, canales y bahías.
Sustancias radiactivas	Radioisótopos hidrosolubles o capaces de ser amplificados biológicamente a concentraciones más altas conforme pasan a través de las cadenas y redes alimenticias. La radiación ionizante de dichos isótopos pueden causar defectos congénitos, cáncer y daño genético.
Calor	Ingresos excesivos de agua caliente que proviene del enfriamiento de máquinas en plantas de energía eléctrica. El aumento resultante en la temperatura del agua disminuye el contenido de oxígeno disuelto y hace a los organismos acuáticos vulnerables a enfermedades, parásitos y sustancias químicas tóxicas.

Tabla 4. Enfermedades comunes transmitidas a seres humanos a través de beber agua contaminada

Tipo de Organismo	Agentes	Enfermedad	Efectos
Bacterias	Salmonella typhi, Salmonella, paratyphi A y B, Shigella sp, Escherichia coli, enterotoxigénica, Campylobacter, Yersinia enterocolítica, Salmonella sp, Shigella	Fiebre tifoidea	Diarrea, vómito severo, bazo crecido, intestino inflamado; a menudo mortal si no se trata.
		Cólera	Diarrea, vómito severo, deshidratación; a menudo mortal si no se trata.
		Disentería bacteriana	Diarrea, raramente es mortal, excepto en niños sin tratamiento adecuado
		Enteritis	Dolor estomacal severo, náusea, vómito; rara vez es mortal.
Virus	Virus de la Hepatitis A y E, Virus de la polio, Rotavirus, Enterovirus, Adenovirus, etc	Hepatitis infecciosa	Fiebre, dolor de cabeza severo, pérdida de apetito, dolor abdominal, ictericia, hígado crecido; rara vez es mortal, pero puede causar daño permanente al hígado.
		Poliomielitis	Fiebre alta, dolor de cabeza severo, úlceras en la garganta, cuello rígido, dolor muscular intenso, debilidad severa, temblores, parálisis en piernas, brazos y cuerpo; puede ser mortal.
Protozoarios parásitos	Entamoeba histolítica, Giardia lamblia, Cryptosporidium	Disentería amebiana	Diarrea severa, dolor de cabeza, escalofrío, fiebre; si no se trata puede ocasionar absceso hepático, perforación intestinal y muerte.
		Giardia	Diarrea, calambres abdominales, flatulencia, eructos, fatiga.
Gusanos parásitos	parásitos	Esquistosomiasis	Dolor abdominal, erupción en la piel, anemia, fatiga crónica y mala salud crónica general.

Los principales agentes desinfectantes que se producen por la ruta electroquímica son: (a) los agentes en los que el cloro es el principio oxidante (cloro molecular, hipoclorito, ácido hipocloroso, dióxido de cloro) y (b) aquellos en los que el oxígeno es el oxidante (ozono y agua oxigenada o peróxido de hidrógeno). Existen otros de menor importancia, como el permanganato de potasio, los iones de algunos metales (Cu, Ag) y otros derivados halogenados (de bromo y de yodo)(1).

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELECTROLÍTICO

La desinfección electrolítica genera desinfectantes de las sustancias naturales contenidas en el agua, o en caso de necesidad, de sustancias además agregadas. Eficaz contra bacterias, hongos, virus y formas permanentes. Efecto duradero a partir de horas a los días siguientes como resultado de la acción del depósito del ácido hipocloroso. La desinfección de la acción se puede medir y controlar por la cantidad medida de clorina electrolítica generada (ácido hipocloroso) o por el potencial redox. Los desinfectantes electrolíticos se generan en un reactor cilíndrico que contienen los electrodos especiales, con el agua atravesando el reactor del fondo a la tapa. El ácido hipocloroso, como el desinfectante principal, se forma en la pila electrolítica del cloruro contenido en el agua. La pila electrolítica es controlada por la instalación de manera que el agua tratada contenga 0,1 a 0,3 mg/l de "clorina libre" por litro (ordenanza alemana del agua potable). La célula funciona en circuito cerrado y es controlado por módem(20).

3.2 CLORO Y CLORAMINAS

El uso de cloro le da al agua un leve sabor y olor a cloro. Algunas personas notan que el agua tiene temporalmente un tinte parduzco, esto es debido a que pequeñas cantidades de hierro y manganeso están normalmente presentes en las cañerías. Similarmente puede que se metan burbujas de aire que darán al agua un aspecto blancuzco. Si el agua se ve pardusca o burbujeante, por favor deje correr el agua fría por 5 o 10 minutos y el agua se aclarará. Si esto no ocurre hay que consultarlo con la empresa proveedora local(21).

3.2.1 Uso de cloraminas en lugar de cloro para desinfectar el agua. El uso de cloraminas reduce el nivel de ciertos derivados de productos desinfectantes llamados tri-halometanos (THMs) y ácidos haloacéticos (HAAs), que pueden ser peligrosos para las personas cuando sus niveles se presentan altos. El cambio en el tratamiento del agua por medio de cloraminas, también reduce o minimiza el sabor y el olor a cloro en el agua bajo condiciones normales.

Sin embargo, las cloraminas no son un desinfectante tan poderoso como el cloro. En algunos sistemas de agua que usan cloraminas deben descargar agua con cloro por sus sistemas una vez al año como precaución(21).

3.2.2 Riesgos del cloro en el agua potable. A los niveles usados en el agua potable municipal, el cloro no es peligroso para las personas que utilizan el agua potable para sus usos normales. Sin embargo, y como se da el caso, las personas y agencias que usan agua potable para los efectos de diálisis deben

remover el cloro y las cloraminas para que éstas no sean absorbidas por la sangre del paciente. El agua para diálisis es filtrada muy cuidadosamente. El agua usada en acuarios también debe ser tratada con aditivos o filtros adecuados para remover el cloro o las cloraminas porque son tóxicas para peces y anfibios(21).

3.2.3 Sensibilidad al cloro. Sí, algunas personas lo son. Si se es sensible al cloro (o cloraminas), probablemente ya lo habrá descubierto puesto que el cloro y las cloraminas se han estado usando ampliamente a través de todo el mundo para desinfectar el agua potable. Si se es sensible al agua con cloro, por favor tomar las precauciones necesarias. Por ejemplo, puede escoger usar agua embotellada sin cloro ya sea para beber o para otros usos(21).

4. CLORACIÓN

En el proceso de oxidación de las diferentes sustancias presentes en el agua y su esterilización, el producto más ampliamente utilizado es el cloro (en los pequeños abastecimientos se suelen emplear derivados del cloro). Si bien en algunas aguas no llega a lograrse el objetivo deseado, dada la presencia de diversas sustancias, con las que el cloro no es tan efectivo, o bien a que precisamente el cloro conduce en su reacción con otras sustancias orgánicas a la formación de compuestos orgánicos clorados muy cuestionados por su potencial perjuicio para la salud (por ejemplo los trihalometanos). Estas circunstancias han llevado a la utilización de otros productos, que si bien no le sustituyen completamente, sí lo complementan, entre los que destacan principalmente el dióxido de cloro y el ozono(34).

La aplicación del cloro, directamente como tal, data de 1912 en EE.UU. En 1913, Wallace y Tiernan introducen unos equipos que permiten medir el cloro gas y formar una solución concentrada que es la que se aplica al agua a tratar. Desde entonces la técnica de la cloración se ha ido perfeccionando y ampliando su adopción como práctica habitual en la desinfección del agua. La esterilización es una de las principales fases del proceso de tratamiento del agua. Empleando el cloro en este proceso se contemplan dos etapas: precloración, realizada antes de

la fase de coagulación-floculación, y poscloración o esterilización, que suele ser la última etapa del tratamiento(34).

Aún cuando el principal objetivo de la cloración comenzó siendo, y aún lo es, la destrucción de gérmenes, dado su gran poder bactericida, no debe olvidarse que su elevado poder oxidante origina otros efectos también muy importantes, como pueden ser la contribución a la eliminación del hierro y manganeso, eliminación de sulfhídrico, sulfuros y otras sustancias reductoras, reducción de sabores existentes antes de la cloración o bien producidos por los compuestos de adición formados por el cloro, impedir el crecimiento de algas y otros microorganismos que interfieren en el proceso de coagulación-floculación y filtración, mantener los lechos filtrantes libres de posibles crecimientos de bacterias anaerobias, reducción del color orgánico, etc.,

La desinfección del agua y más concretamente la cloración, está siendo objeto de polémica en los últimos años, como consecuencia, principalmente, de los subproductos de la desinfección, llegando a cuestionarse la necesidad de la propia desinfección en muchos casos. Las reglamentaciones de los países difieren bastante a este respecto, algunos incluso no requieren de forma expresa el empleo de desinfectantes en el tratamiento del agua, si bien es cierto que las calidades de las aguas en origen son muy distintas y más aún entre los diferentes países(34).

Muchos países, dentro y fuera de la UE, debido a las características de sus aguas, generalmente superficiales, acuden a la desinfección, principalmente con cloro y mantienen una determinada concentración de residual en sus redes de distribución. Esta desinfección puede traer consigo la generación de sustancias perjudiciales para la salud de los consumidores, conocidas como subproductos de la desinfección, con valores máximos fijados en la propia Directiva, y que han sido a veces el motivo para no emplear desinfectante o al menos replantearse su empleo. En cualquier caso, como la misma Organización Mundial de la Salud indica, no se debe comprometer o dejar en segundo término, una correcta desinfección, ante los efectos a largo plazo que originarían los subproductos de la desinfección(34).

4.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CLORACIÓN

Entre los principales factores que influyen en el proceso de desinfección y tratamiento del agua con cloro, figuran los siguientes(34):

- Naturaleza, concentración y distribución de los organismos que se van a destruir, así como de la concentración y distribución de la sustancia desinfectante y de los productos de su reacción con el agua, así como de las sustancias disueltas o en suspensión presentes en el agua.
- Naturaleza y temperatura del agua objeto del tratamiento.
- Tiempo de contacto entre el cloro y el agua.
- pH del agua.

Respecto a los anteriores factores, podemos decir, en lo que respecta a los organismos presentes en el agua, que estos pueden ser muy diversos y con unos requerimientos de cloro para su eliminación muy diferentes.

Para que la cloración resulte eficaz es necesaria una distribución homogénea del cloro en el agua y que la dosis sea adecuada, para obtener un agua tratada inocua. A partir de 0,1 a 0,2 ppm de cloro libre residual en el agua, ya se percibe sabor, percibiéndose antes cuanto mayor sea la dureza y temperatura del agua. Puede procederse a la dechloración o eliminación del cloro en el agua, mediante el empleo de sustancias reductoras, tales como el anhídrido sulfuroso, el hiposulfito sódico, etc.,. Utilizando cantidades apropiadas de estos productos se puede eliminar la cantidad de cloro deseada. También se puede eliminar el cloro filtrando el agua a través de carbón activo.

Entre las múltiples sustancias que pueden contener las aguas naturales, algunas influyen en gran medida en la eficacia de la cloración. Por ejemplo, en presencia de sustancias orgánicas, la acción desinfectante del cloro es menor. El amoníaco y otros compuestos orgánicos nitrogenados consumen cloro. El hierro y el manganeso reaccionan con el cloro aumentando la demanda de éste, y, una vez oxidados, contribuyen a aumentar la turbiedad del agua.

Las bacterias y virus pueden quedar protegidos de la acción del cloro por los sólidos suspendidos en el agua; de aquí que la eficacia de la cloración se vea aumentada mediante la subsiguiente filtración y una posterior esterilización.

Respecto a la temperatura, la eficacia de cloración aumenta al aumentar aquélla, naturalmente siempre que las demás condiciones permanezcan invariables. A pesar de esto, ocurre que como en el agua a baja temperatura el cloro permanece más tiempo, puede llegar a compensarse la mayor lentitud de la desinfección con la mayor duración del cloro en el agua.

El tiempo de contacto es otro factor importante a tener en cuenta, ya que durante este tiempo tienen lugar las reacciones entre el cloro y el agua y las sustancias en ella presentes. El tiempo de contacto mínimo suficiente para una cloración eficaz es, a su vez, función de la temperatura, pH, concentración y naturaleza de los organismos y sustancias presentes en el agua, así como de la concentración y estado en que se halle el cloro. Como mínimo, el tiempo de contacto deber de ser de diez a quince minutos.

Para que la acción de un desinfectante sea eficaz, hay que mantener una determinada concentración del desinfectante durante un período de tiempo, es decir, la expresión Ct , representaría la concentración del desinfectante final en mg/l (C) durante el tiempo mínimo de exposición en minutos (t). La expresión que nos muestra el efecto de la concentración del desinfectante sobre la velocidad de destrucción de bacterias, se expresa más correctamente por

$$C_n \cdot t = \text{Constante}$$

El exponente n para el cloro varía entre 0.5 y 1.5, dependiendo de la temperatura y del pH.

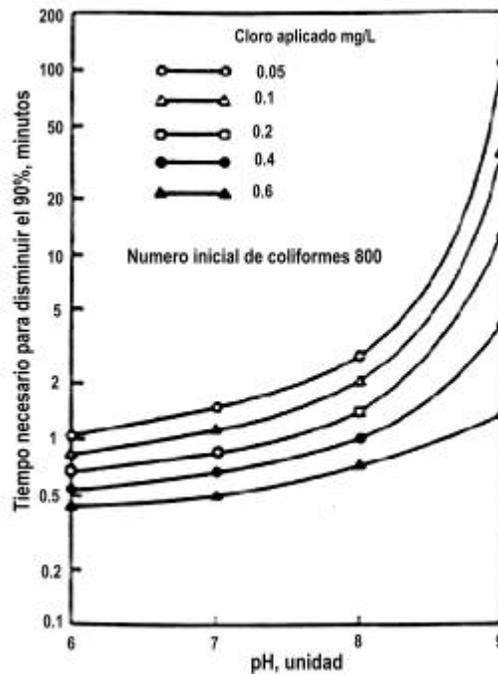
El pH juega un papel de suma importancia y nos detendremos en él cuando tratemos de las reacciones del cloro en el agua. Por ahora diremos que el poder bactericida del cloro es menor para un pH superior a 7, que para otros valores de pH más bajos a éste(34).

El tiempo de contacto para lograr un determinado grado de desinfección disminuye al aumentar la concentración y también como se acaba de indicar, al disminuir el pH. En la figura 2 se observa lo indicado, relacionando el tiempo de contacto necesario para destruir el 90 % de coliformes a diferentes pH.

4.2 REACCIONES DEL CLORO EN EL AGUA

La cloración de las aguas se considera como el método más efectivo y económicamente factible para la desinfección de las aguas tanto residuales como potables. Esta práctica ya se ha llevado a cabo en otros países con resultados positivos con relación a la desinfección.

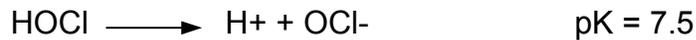
Figura 2. Tiempo para la desinfección, utilizando diversas dosis de cloro a diferente pH



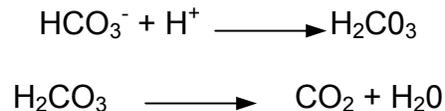
Visto desde el aspecto bacteriológico, este proceso parece ideal. Sin embargo, las investigaciones indican que la cloración de las aguas residuales, aunque reduce el número total de bacterias, aumenta la proporción de bacterias resistentes a antibióticos, las cuales son potencialmente patógenas. El cloro, más allá de su actividad desinfectante, sufre un número de reacciones químicas que deben ser consideradas, ya que éstas tienen entre sus productos compuestos organoclorados indeseables.

En las ciudades se utiliza el cloro gas (Cl_2) durante el proceso de cloración. Este cloro reacción con el agua, produciendo ácido hipocloroso e ión hipoclorito de la siguiente forma(26):





Las cantidades relativas de las diferentes especies oxidadas del cloro son una función del pH y la temperatura, a 25° C y pH 7.5, las actividades del HOCl y del OCl⁻ son iguales. Cabe anotar que debido a la deficiencia de electrones del cloro en ambas formas (el ácido hipocloroso o el ión hipoclorito) los hace agentes muy activos y por lo tanto muy buenos oxidantes. Los protones producidos en esta reacción son neutralizados por el bicarbonato según(26):



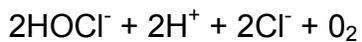
Para lograr la desinfección de las aguas se dosifica a niveles conocidos de cloro activo en cualquiera de sus diferentes formas, lo cual decrece luego de un período de contacto. Cabe anotarse que para producir el efecto desinfectante, el cloro dosificado sólo debe ser consumido parcialmente. Es decir, luego del período de contacto debe mantenerse un nivel adecuado de cloro residual. A esta variación, entre el nivel de cloro teórico alcanzado luego de la dosificación y el nivel de cloro residual, se le denomina "demanda de cloro", y se debe a la gran variedad de reacciones entre el cloro activo y los compuestos presentes en el agua residual y también en algunas circunstancias a su propia descomposición(26).

Podríamos agrupar estas reacciones del siguiente modo(26):

- a) Las provocadas por la radiación solar
- b) Las que se producen entre el cloro activo y los compuestos inorgánicos

- c) Las reacciones del cloro activo con el amoniacó y el nítrógeno orgánico.
- d) Las producidas entre el cloro activo y los compuestos orgánicos.

4.2.1 Reacciones provocadas por la radiación solar. Se producen debido a la acción de la radiación ultravioleta que provee de energía para que se produzca la reacción entre el cloro y el agua.



4.2.2 Reacciones del cloro activo con compuestos inorgánicos. Estas reacciones se producen con compuestos inorgánicos reducidos, por ejemplo, Mn(II), Fe(II), NO_2^- , S(-II). En general estas reacciones de redox son rápidas, como por ejemplo en el caso del Fe(II) :



Las reacciones del cloro con el S(II), NO_2 siguen este mismo comportamiento, al igual que el Mn(II) sólo que en este último ocurre solo a $\text{pH} > 8.5$. A pHs altos también se formarán polisulfitos a partir de los sulfitos.

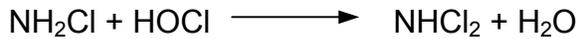
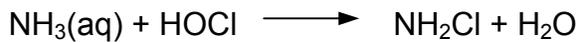
Si hay NO_2^- en el efluente el cloro activo lo oxidará a nitratos:



4.2.3 Reacciones con el amonio y con el nítrógeno orgánico. Estas son diferentes a las que se producen con los compuestos inorgánicos y orgánicos. El cloro activo cuando reacciona con el amonio genera los compuestos denominados

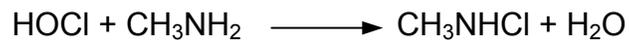
cloraminas (tabla 5) y eventualmente a una variedad de productos libres de cloro que contienen nitrógeno (tabla 6). Los mecanismos de reacción son complejos y los productos varían según, las condiciones de pH, concentración del Cl₂, nivel de amonio y tiempo de contacto.

Puede resumirse como un proceso por pasos:



La formación de los productos finales de oxidación dados en la tabla 7 dependen de la relación cantidad de cloro/cantidad de nitrógeno amoniacal presente.

Con compuestos de nitrógeno orgánico el cloro reacciona fácilmente dando productos tales como la metilamina:



o de dicloro metilamina:

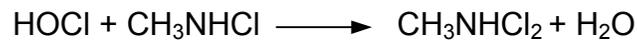


Tabla 5. Productos de la Cloración del Amonio

Nombre	Fórmula
Monocloramina	NH ₂ Cl
Dicloramina	NHCl ₂
Tricloramina o tricloruro de nitrógeno	NCl ₃

Tabla 6. Posibles Productos de Oxidación de Amonio por Cloro

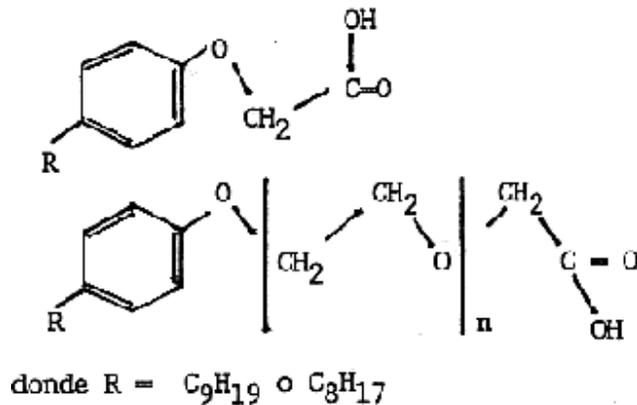
Nombre	Fórmula	Base Molar	Base peso
Hidrazina	N_2H_4	0.5	2.54
Hidroxilamina	NH_2OH	1.0	5.07
Nitrógeno	N_2	1.5	7.61
Oxido nitroso	N_2O	2.0	10.1
Oxido nítrico	NO	2.5	12.7
Nítrito	NO_2^-	3.0	15.2
Tetraoxido de nitrógeno	N_2O_4	3.5	17.7
Nitrato	NO_3^-	4.0	20.3

Tabla 7. Compuestos Organoclorados hallados como resultado de la cloración de aguas residuales

NO AROMÁTICOS
Cloroformo, Clorociclohexano, Dibromoclorometano, Tetracloroacetona, Diclorobutano, Pentacloroacetona, 3-Cloro-2-metil-1-eno, Hexacloroacetona
AROMÁTICOS
O-Diclorobenzeno, Tricloroetilbenzeno, p-Diclorobenzeno, Triclorocumeno, Cloroetilbenzeno, Diclorotolueno, Dicloroetilbenzeno, Clorocumeno, N-metil-tricloroanilina, Triclorofenol, Triclorodimetoxibenzeno, Tetraclorofenol, Tetracloroetil estireno, Tetracloro, Triclorometilestireno, dimetoxibenzeno, Cloro-metilbenzil alcohol, Tricloroftalato, Dicloro-metilbenzil alcohol, Tetracloroftalato

4.2.4 Reacciones producidas con compuestos orgánicos. Son las que consideramos de mayor interés en el proceso de desinfección de aguas residuales. Las aguas residuales tienen un alto contenido de materia orgánica. Esta tiene una enorme variedad de estructuras químicas las cuales dependen del origen de la misma. Aún así, se espera la presencia de ciertos tipos de materia orgánica. Por ejemplo, se espera encontrar carbohidratos, ácidos grasos y proteínas, a diferentes niveles de biodegradación y otras materias de origen

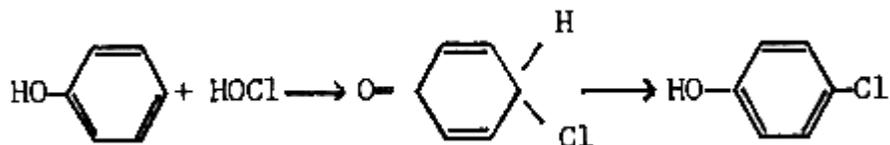
vegetal y animal; Aceites y grasas, insecticidas, surfactantes y otros residuos sintéticos. Estos compuestos orgánicos tienen estructuras alifáticas y aromáticas, y contienen oxígeno, y nitrógeno. Por ejemplo, los productos de la semibiodegradación de cierto tipo de surfactantes, los ácidos alquilfenoxi carboxílicos los cuales tienen las siguientes estructuras químicas.



En general, la estructura fenólica y los compuestos alifáticos no saturados son bastante comunes. Por ejemplo, los derivados de la lignina, los ácidos húmicos y fúlvicos, los ácidos grasos no saturados, etc. En el caso de compuestos orgánicos, los electrones más reactivos y por lo tanto los compuestos más fáciles de combinar serán aquellos que en su estructura tengan doble enlace.

En la cloración de compuestos orgánicos se reconocen ciertos mecanismos típicos. Por ejemplo:

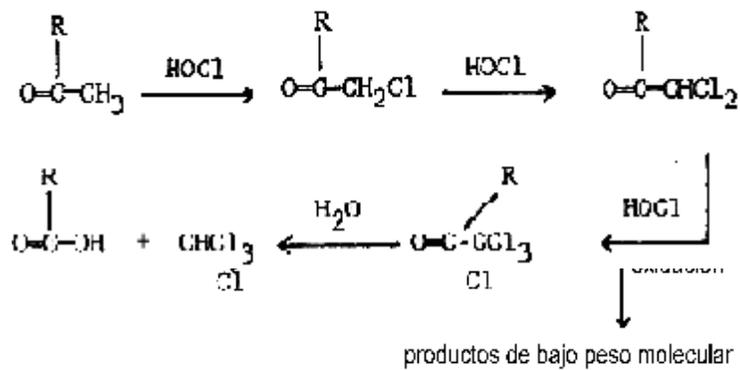
1. Reacción con el anillo aromático, especialmente el fenólico. Por ejemplo:



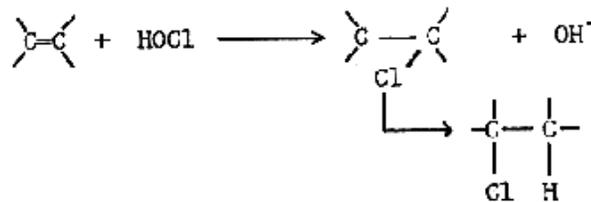
La cloración puede ser extensiva, es decir, puede encontrarse la serie de fenoles clorados hasta pentaclorofenol. La actividad de cada anillo depende del tipo de compuesto de origen, cabe anotar el fuerte olor que presentan estos compuestos. Es posible que con una cloración intensiva y a concentraciones más elevadas se produzcan compuestos orgánicos clorados de menor pero molecular como los trihalometanos(26).

3. Formación de trihalometanos.

se tipifica el mecanismo de la siguiente manera



2. Adición a enlaces dobles



También se encuentra la ruptura del anillo aromático en la formación de cloroformo.

Según Norwood, éstos no son los únicos mecanismos en la formación de compuestos organoclorados, ya que a menudo se encuentran compuestos que no resultarían de estos mecanismos. Norwood et al sugieren que aún falta mucha investigación para poder reconocer todos los procesos dentro de un sistema tan complejo como pueden ser las aguas naturales y residuales. De igual modo aún cuando se han identificado compuestos derivados de la cloración, hay muchos otros que aún no han podido ser determinados.

4.3 Riesgos de producción de tóxicos y la bioconcentración de los mismos.

Más allá de las reacciones específicas se han realizado pruebas de cloración de aguas residuales municipales. Glaze et al cloraron aguas residuales y posteriormente hicieron análisis de TOCl y de compuestos específicos por cromatografía de gas/espectrometría de masa. Se encontró que el tratamiento de aguas residuales resulta en un aumento significativo de TOCl. En lo que se refiere a compuestos clorados específicos se encontró una gran variedad de éstos. La gran mayoría son derivados de compuestos aromáticos, aunque también se encontraron compuestos no aromáticos (ver tabla 7). Glaze et al coinciden con Norwood et al en que no todos los compuestos son el resultado de mecanismos conocidos(26).

Las reacciones que tienen lugar entre el cloro y el agua, aunque en principio parecen muy simples, no siempre lo son, ya que el agua objeto de la cloración no sólo es H_2O , sino que en ella hay diversas sales y materias orgánicas en solución y suspensión. Pero trataremos en principio sólo de las reacciones de equilibrio que tienen lugar al reaccionar el cloro con el agua, que son reacciones de hidrólisis, se originan ácidos hipocloroso y clorhídrico. Esta relación se puede ver en la figura 3.(34):

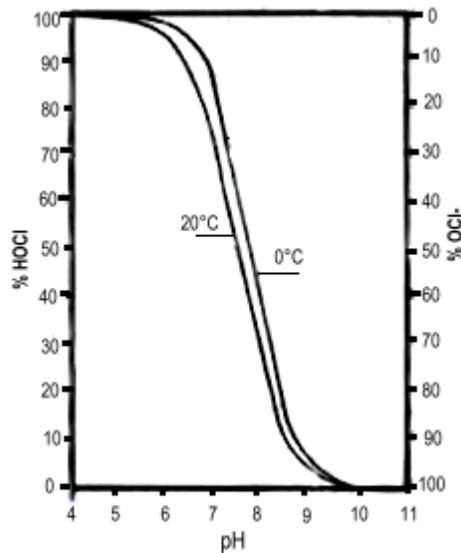


Figura 3. Porcentajes de HOCl y OCl⁻ para distintos valores de pH



El ácido clorhídrico es neutralizado por la alcalinidad del agua y el ácido hipocloroso se ioniza, descomponiéndose en iones hidrógeno e iones hipoclorito:



La constante de ionización del anterior equilibrio es:

$$K_i = \frac{[H^+] * [ClO^-]}{ClOH} \dots(3)$$

La constante de ionización K_i varía con la temperatura como se indica a continuación

Temperatura. °C	0	5	10	15	20	25
(Moles/l) K_i	$1.5 \cdot 10^{-8}$	$1.5 \cdot 10^{-8}$	$2.0 \cdot 10^{-8}$	$2.2 \cdot 10^{-8}$	$2.5 \cdot 10^{-8}$	$2.7 \cdot 10^{-8}$

La constante de hidrólisis de la reacción (1) es de tal orden que no existe en el agua una concentración apreciable de Cl_2 a no ser que la concentración de H^+ sea elevada, es decir, que el pH del agua sea bajo, menor de 3, y haya una concentración total de cloruros mayor de 1.000 mg/l.

A temperaturas ordinarias del agua, la hidrólisis del cloro es prácticamente completa en algunos segundos y la ionización del ácido hipocloroso es una reacción reversible instantánea. El sentido de esta reacción, es fácil ver que se encuentra dirigido por la concentración de iones hidrógeno, es decir del pH. Por tanto, se puede decir que según sea el pp. del agua, se obtendrán unos porcentajes diversos de $ClOH$ y ClO^- , porcentajes que pueden calcularse mediante la ecuación (3) y la tabla anterior en la que figuran los valores de K_i partiendo de la relación(34):

$$[OCl^-] = \frac{K_i * [HOCl]}{[H^+]}$$

El cloro libre total C_T es igual a: $[\text{HOCl}] + [\text{OCl}^-]$

Reemplazando nos queda: $C_T = [\text{HOCl}] + \frac{K_i * [\text{HOCl}]}{[\text{H}^+]}$

$$C_T = [\text{HOCl}] * \left[1 + \frac{K_i}{[\text{H}^+]} \right]$$

$$\frac{[\text{HOCl}]}{C_T} = \frac{1}{1 + \frac{K_i}{[\text{H}^+]}}; \text{ donde } \text{pH} = \log 1/(\text{H}^+) \text{ o } \text{antilog pH} = 1/(\text{H}^+) = 10$$

$$\text{Finalmente: } [\text{HOCl}] = \frac{C_T}{1 + (K_i * 10^{\text{pH}})} \quad (4)$$

Si queremos conocer el % de HOCl haciendo C_T igual a la unidad, bastara multiplicar por 100 el resultado de la formula (4). Se desprende que cuanto menor sea el pH, mayor será la concentración de HOCl (41).

Ejemplo: hallar el % de HOCl si el pH del agua es 5 y su temperatura 20°C. K_i a 20°C es 2.5×10^{-8} de acuerdo a la tabla anterior.

$$\%[\text{HOCl}] = \frac{100}{1 + (2.5 \times 10^{-8} * 10^5)} = \frac{100}{1.0025} = 99.75\%$$

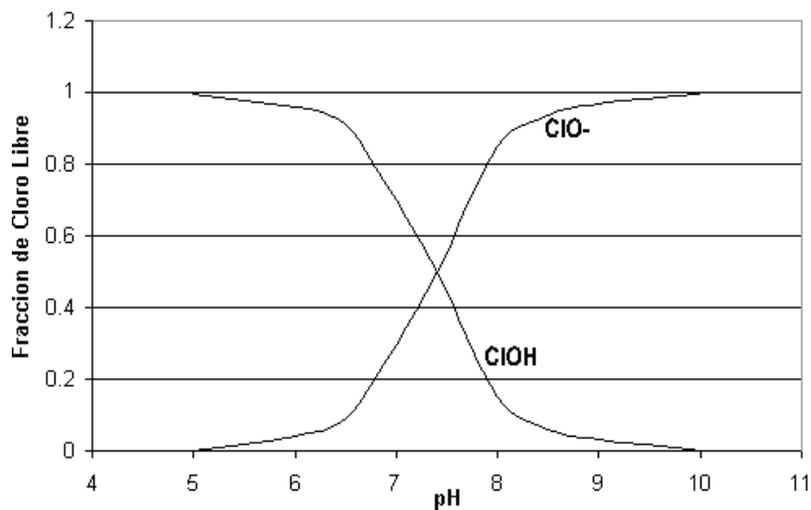


Figura 4. Distribución del ClOH y ClO⁻ en función del pH

En las figuras 3 y 4 se muestran los porcentajes de distribución de ClOH y ClO⁻ o sus fracciones expresadas en cloro libre, a varios pH calculados como en el ejemplo anterior. Entre pH 6 y pH 9.5, hay equilibrio entre el ácido hipocloroso sin disociar y disociado. Para pH mayor de 9.5, está prácticamente todo el ácido hipocloroso disociado en ión hipoclorito(34)

El ácido hipocloroso tiene mayor poder oxidante y bactericida que el ión hipoclorito, razón esta que es muy importante tener en cuenta, ya que, como hemos visto, la proporción de ácido hipocloroso e ión hipoclorito es función del pH, debiendo operarse a ser posible al pH más idóneo para lograr una más eficiente desinfección. La eliminación de bacterias y otros microorganismos, disminuye por tanto al aumentar el pH, así por ejemplo en el rango de pH 7 a 8, la velocidad de destrucción disminuye unas 5 veces al pasar de pH 7 a pH 8, por lo que para mantener el mismo ritmo de destrucción de bacterias, la concentración de cloro

debe mantenerse 5 veces más alta. El hecho de que la concentración de ClOH disminuya al aumentar el pH no supone que disminuya el contenido de cloro libre, sino que la velocidad de reacción es menor.

Por otra parte hay que tener presente que la eficacia relativa de los distintos desinfectantes que pueden emplearse en la desinfección del agua, a igualdad de factores tan importantes, como el pH y la temperatura, es muy diferente. En la figura(5) se muestra la eficacia relativa de los diferentes desinfectantes químicos ante E-Coolí a un pH. de 7.5 y una temperatura de 5°C (34).

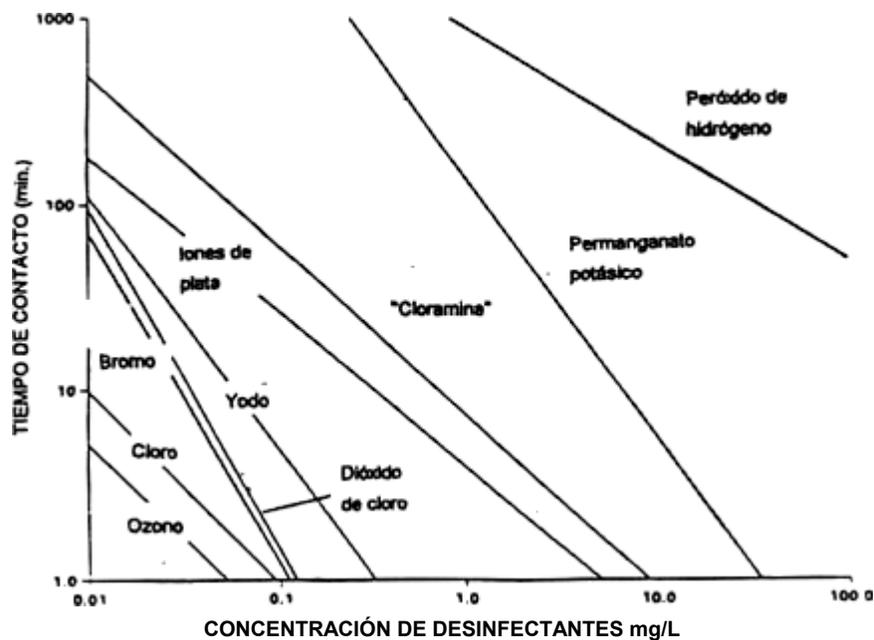


Figura 5. Eficacia de algunos desinfectantes ante E-coli

4.4 DEMANDA DE CLORO Y BREAK POINT

La cantidad de cloro que debe utilizarse para la desinfección del agua, se determina generalmente mediante el método de la demanda de cloro y el de breakpoint.

Al incorporar el cloro al agua, reacciona con las sustancias que ésta contiene, quedando menos cloro en disposición de actuar como desinfectante. Entre estas sustancias destacan el manganeso, hierro, nitritos, sulfhídrico y diferentes materias orgánicas, las cuales, además de consumir cloro, producen compuestos orgánicos clorados que pueden ser la causa de olores y sabores desagradables. Otra sustancia presente, a veces ,en el agua y que reacciona de una forma muy particular con el cloro es el amoníaco. En este caso se forman compuestos denominados cloraminas, las cuales poseen poder desinfectante, aunque en menor grado que el cloro. Si se continúa añadiendo cloro en exceso, de manera que reaccione con todas las sustancias presentes, llegará un momento en que el cloro sobrante aparecerá como cloro residual libre, que es el que realmente actúa ahora como agente desinfectante.

La demanda de cloro es la diferencia entre la dosis de cloro añadida y el contenido de cloro residual al cabo de un tiempo de contacto suficiente para completar las reacciones antes expuestas. El control perfecto de la desinfección, se efectúa mediante los correspondientes exámenes bacteriológicos del agua, pero para un control más rápido del contenido en cloro libre y combinado de un agua tratada, se determina la concentración de cloro residual mediante el método del DPD, o bien

por yodometría y valoración con tiosulfato sódico; también, en instalaciones importantes suelen emplearse instrumentos automáticos de medida permanente, mediante determinaciones colorimétricas o determinaciones amperométricas(34).

El cloro presente en el agua tratada que se conoce como «cloro residual», puede presentarse como «cloro residual libre» o como «cloro residual combinado».

El cloro residual libre está constituido esencialmente por el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito; y el cloro residual combinado lo forman generalmente las cloraminas.

Para que el cloro residual libre esté presente en un agua tratada con cloro después del suficiente tiempo de contacto, es necesario que la cloración se lleve a cabo mediante una dosis lo suficientemente elevada de cloro, hecho conocido como «dosificación con cloro sobrante», «cloración por el punto crítico» o «cloración al breakpoint», con lo cual el cloro oxidará todas las sustancias que estén en disposición de ser oxidadas, se combinará, destruirá y eliminará otras, como por ejemplo las cloraminas , y después de todo esto aún quedará un exceso de cloro libre residual. La dosis de cloro a la cual comienza a aparecer el cloro libre residual es la llamada dosis de breakpoint. Indicaremos ahora, y después ampliaremos, que algunas de las sustancias orgánicas cloradas formadas con el cloro libre son causa de preocupación desde el punto de vista sanitario(34).

Teóricamente, en un agua totalmente pura, al ir adicionando cloro, la concentración residual medida del mismo sería igual al cloro incorporado. Pero esto no ocurre así en aguas que no son completamente puras, que es el caso

general. Entonces, al ir adicionando cloro y después de haberse oxidado las diversas sustancias que ya indicamos y formado las cloraminas, si había presente amoníaco y otros compuestos clorados de adición, si medimos ahora el cloro residual, se observará que éste no corresponde al añadido, sino que es menor, llegando incluso a un punto, en que en lugar de ir aumentando la concentración de cloro residual ésta disminuye. La explicación de este descenso se justifica por el hecho de que una vez formados los diversos derivados orgánicos del cloro y las cloraminas, llegan a destruirse mediante la adición de más cloro, formándose otros compuestos que no suministran cloro residual. Cuando se han destruido estos compuestos clorados, comienza a aparecer el cloro residual libre, y a medida que se añade cloro al agua aumenta la concentración de cloro residual libre, pudiendo subsistir a la vez una pequeña concentración de cloro residual combinado, debido a compuestos que no han sido destruidos totalmente. Se considera que cuando el 85 % ó más del cloro residual del agua está en forma libre, la desinfección se ha realizado al breakpoint(34).

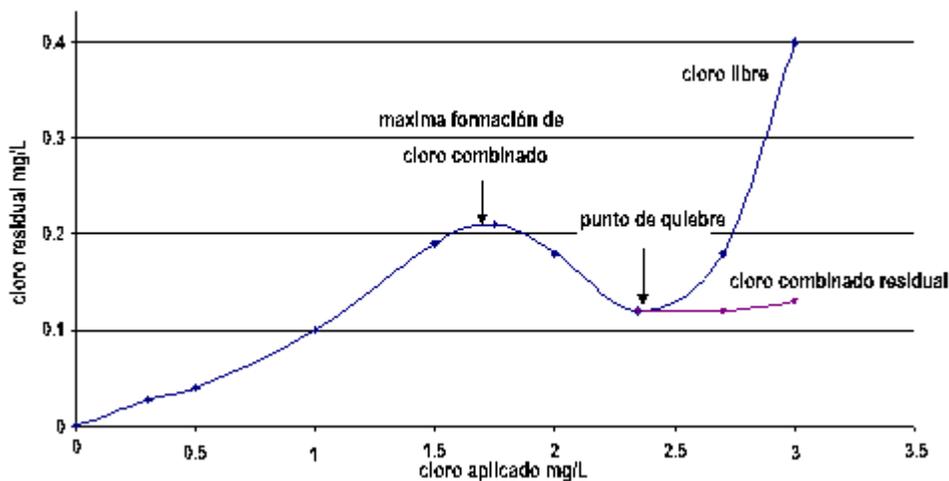


Figura 6. Punto de quiebre

En la figura 6 queda mostrado de forma gráfica lo anteriormente expuesto. El breakpoint es la dosis correspondiente al mínimo de la curva. Este punto no lo presentan claramente las aguas con poca materia orgánica o compuestos nitrogenados.

Cuando se realiza una cloración al breakpoint, no sólo es el ClOH que persiste al terminar las reacciones (cloro residual libre) el que se utiliza para la desinfección, sino que también se está utilizando, en parte, para la desinfección, el ClOH que existe durante el desarrollo y consecución del breakpoint. Esta disponibilidad temporal de ClOH es función del pH, temperatura y concentración de cloro y amoníaco(34).

4.4.1 Demanda de cloro. La cantidad de cloro que debe utilizarse para la desinfección del agua, se determina generalmente mediante el método de la demanda de cloro y el de breakpoint. Al incorporar el cloro al agua, reacciona con las sustancias que ésta contiene, quedando menos cloro en disposición de actuar como desinfectante. Entre estas sustancias destacan el manganeso, hierro, nitritos, sulfhídrico y diferentes materias orgánicas, las cuales, además de consumir cloro, producen compuestos orgánicos clorados que pueden ser la causa de olores y sabores desagradables. Otra sustancia presente, a veces ,en el agua y que reacciona de una forma muy particular con el cloro es el amoníaco. En este

caso se forman compuestos denominados cloraminas, las cuales poseen poder desinfectante, aunque en menor grado que el cloro.

Si se continúa añadiendo cloro en exceso, de manera que reaccione con todas las sustancias presentes, llegará un momento en que el cloro sobrante aparecerá como cloro residual libre, que es el que realmente actúa ahora como agente desinfectante.

Para que el cloro residual libre esté presente en un agua tratada con cloro después del suficiente tiempo de contacto, es necesario que la cloración se lleve a cabo mediante una dosis lo suficientemente elevada de cloro, hecho conocido como «dosificación con cloro sobrante», «cloración por el punto crítico» o «cloración al breakpoint», con lo cual el cloro oxidará todas las sustancias que estén en disposición de ser oxidadas, se combinará, destruirá y eliminará otras, como por ejemplo las cloraminas, y después de todo esto aún quedará un exceso de cloro libre residual. La dosis de cloro a la cual comienza a aparecer el cloro libre residual es la llamada dosis de breakpoint. Indicaremos ahora, y después ampliaremos, que algunas de las sustancias orgánicas cloradas formadas con el cloro libre son causa de preocupación desde el punto de vista sanitario(34).

4.5 CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

El consumo de cloro en el agua de una red de distribución se debe, por una parte, al consumo del cloro por la propia agua (sustancias presentes en ella y otras condiciones físicas) y por otra, al consumo que se produce en la interfase con las

paredes de las conducciones. En el agua, el consumo depende principalmente de la temperatura y del contenido en materias orgánicas disueltas (COT). En la interfase con las paredes, el consumo de cloro se produce por la interacción con los productos de corrosión y por los depósitos y biomasa fijada en las paredes(34).

La disminución del cloro residual en una masa de agua, viene expresada por la ecuación exponencial siguiente:

$$C(t) = C_0 \cdot e^{-kt}$$

$C(t)$ = Concentración de cloro (mg/l.) en el tiempo t .

C_0 = Concentración inicial de cloro (mg/l.)

t = Tiempo de reacción.

Es decir, hay una disminución exponencial de cloro residual con el tiempo. La constante K puede ser calculada por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\ln(C_0/C_t)}{T}$$

Un tiempo de exposición mínimo es necesario para que la concentración de cloro aplicado garantice la desinfección.

Para un agua correctamente pretratada, se debe mantener un $C.t$ del orden de 15 (mg.min/L), por ejemplo 0,5 mg/l. de cloro libre durante 30 minutos, ó 0,25 mg/l. durante 1 hora.

A título de ejemplo comparativo, se muestran valores C.t para diversos desinfectantes:

Cloro	= 15 (0,25 mg/l. durante 60 minutos)
Ozono	= 1,6 (0,40 mg/l. durante 4 minutos)
ClO ₂	= 10 (0,30 mg/l. durante 33 minutos)
Monocloramina	= 100 (0,80 mg/l. durante 120 minutos)

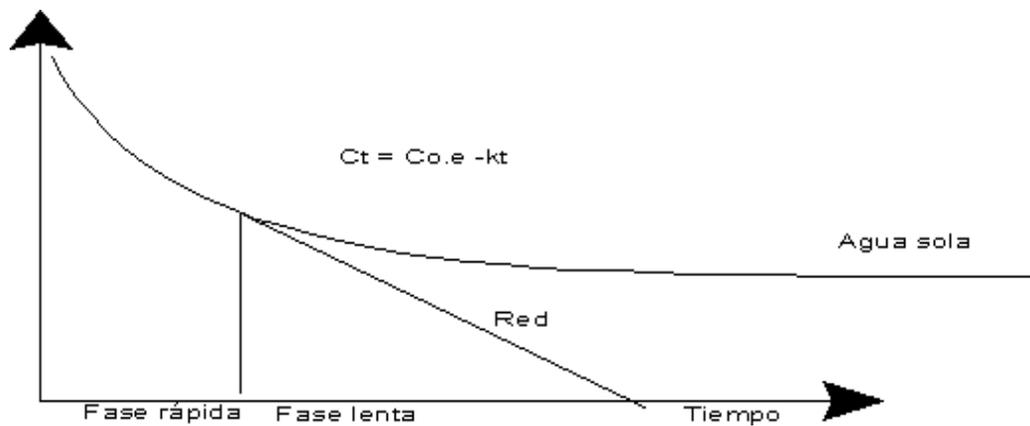


Figura 7. Cinética de reacción del cloro

En la figura 7 se representa un esquema de la cinética de la disminución del cloro en el agua de una vasija inerte y en una canalización (red):

Las dos técnicas de cloración generalmente empleadas son la cloración residual libre y la cloración residual combinada (más la primera que la segunda).

La técnica de la cloración residual libre supone la aplicación de cloro al agua para conseguir que ya sea directamente o bien después de la destrucción del amoníaco, quede un cloro residual libre, tanto a la salida de la planta como en la red de abastecimiento.

La técnica de la cloración residual combinada implica la reacción del cloro con el amoníaco natural o añadido (sin llegar a la destrucción de éste) y mantener este cloro residual combinado en la red.

Empleando cloro como oxidante/desinfectante primario, se ha comentado que la formación de THMs y otros subproductos se ve favorecido con el aumento de la dosis de cloro y con el aumento del tiempo de contacto agua-cloro. Por otra parte, se sabe que para una efectiva desinfección (cloración) hay que mantener una adecuada concentración de cloro libre residual durante un determinado tiempo de contacto. El producto de la concentración de cloro libre en mg/l. y el tiempo de contacto en minutos, es decir C.t es un indicador del potencial de desinfección en el proceso de cloración(34).

Está comprobado que los contenidos de THM a la salida de las estaciones de tratamiento se incrementan posteriormente en muchos casos, ya en la red, debido principalmente al mayor tiempo de contacto del cloro con la materia orgánica que sale de la estación y con las sustancias orgánicas que forman el biofilm de la red.

La desinfección debe realizarse en la estación de tratamiento y no contar con el tiempo que el agua ha de estar en la red para que se garantice el producto C.t. de forma que el primer consumidor de agua de la red beba un agua perfectamente desinfectada.

Si se opta por mantener un desinfectante residual en la red, cloro libre, habría que volver a reclarar el agua y mantenerla así durante el largo período de estancia de los grandes y extensos sistemas de distribución, es decir, aumentando dos de los factores (C y t) que potencian la formación de THMs. La incapacidad del cloro para mantener una concentración residual consistente y estable en los sistemas de distribución extensos, le limita como un adecuado desinfectante secundario(34).

¿Sería conveniente entonces buscar una alternativa al cloro libre que además de no formar estos subproductos sea más estable y por tanto su concentración se mantenga casi constante desde que el agua sale de la estación de tratamiento hasta que llega al consumidor más alejado?. Aparece entonces la solución del cloro residual combinado, en forma de cloraminas como una eficaz alternativa, las cuales se verán mas adelante.

4.5.1 Elección del desinfectante residual. Aceptando el mantenimiento de un desinfectante residual, se debe minimizar este residual y los subproductos formados para lo cual es necesario y fundamental(34):

1) Tratar el agua para reducir la materia orgánica natural (MON) que sirve como precursor de los subproductos de la desinfección.

2) Tratar el agua para mejorar la estabilidad del desinfectante residual, ya que cuanto más estabilidad del residual, menor desinfectante será necesario.

3) Hacer una cuidadosa elección del oxidante/desinfectante, siguiendo los criterios de máxima estabilidad, máximo control del biofilm, mínima toxicidad directa y mínima formación de subproductos.

En la tabla 8 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 Biofilm y 4) Formación de subproductos.

Tabla 8. Propiedades de algunos oxidantes

Oxidante	Estabilidad residual	Límite del residual mg/l (USEPA)	Control biofilm	Subproductos
Cloro libre	Muy buena	4	Buena	Mala
Dióxido de cloro	Buena	0,8	Buena	Buena
Cloraminas	Excelente	4	Muy buena	Muy buena

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 y el biofilm 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(34).

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 lleve a disponer de un agua con el más bajo olor y sabor al desinfectante y subproductos derivados de él, a la vez que se consiga la mayor efectividad de desinfección.

Dado el menor poder oxidante y de desinfección 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) deseada, es decir, que después de destruir las cloraminas que pudieran haberse formado con el amoníaco o sustancias orgánicas nitrogenadas presentes en el agua bruta y satisfacer la demanda de cloro de esta agua, quede aún cloro libre residual (cloración con cloro sobrante) que será transformado en cloro combinado al incorporar amoníaco(34).

4.6 EQUIPOS E INSTALACIONES DE CLORACIÓN

Tanto para la dosificación del cloro, como para la del amoníaco, se emplean equipos similares, aunque, naturalmente, y dado el diferente comportamiento químico de estas dos sustancias, se introducen algunas diferencias, principalmente en cuanto a la naturaleza de los materiales de la instalación(34).

El cloro que se emplea en las instalaciones de cloración, en estaciones de tratamiento, suele suministrarlo la industria en botellones de 50 kgs. y tanques o bidones de 1.000 kgs, en los cuales el cloro está a presión en fase líquida en equilibrio con la parte gaseosa. Estos bidones tienen dos tomas: la parte superior, por la que se puede extraer el cloro gas directamente (las posibilidades de vaporización de un contenedor son del orden de 1,5 % y por hora de su contenido), y la parte inferior, por la que se extraerá el cloro líquido cuando el consumo es más elevado, requiriendo en este caso la instalación el empleo de evaporadores que, en realidad, son unas cubas de acero en cuyo interior se encuentran en equilibrio el cloro líquido y el cloro gas y por el exterior están

rodeadas por una cuba de agua calentada por resistencias eléctricas con los correspondientes mecanismos de regulación(34).

El cloro gas que sale del evaporador pasa a un filtro para que queden retenidas las pequeñas impurezas que puedan acompañar al cloro y no lleguen a la válvula reguladora ni a los cloradores. Esta válvula se encarga de reducir adecuadamente la presión del gas a la salida del evaporador, para conseguir que el cloro se mantenga en forma gaseosa en el resto de la instalación e impedir una relicuación del cloro y que llegue en estado líquido al clorador, lo que provocaría su destrucción(34).

Los cloradores o clorómetros, a donde llega el cloro gas que sale de los evaporadores (o directamente procedente de los contenedores en el caso de pequeñas instalaciones, que no requieren evaporador), regulan la cantidad de cloro a dosificar. El principio de funcionamiento de los cloradores se basa en la transmisión del vacío creado por la circulación de agua a través de un inyector a una válvula diferencial, que mantiene una presión diferencial constante en un regulador de caudal, con válvula de orificio de sección variable, para regular el caudal. Por su parte, el cloro a presión llega a una válvula reguladora de presión, hasta quedar a una presión inferior a la atmosférica, y de aquí a un rotámetro para medir el caudal. El cloro pasa a la válvula de presión diferencial y a continuación al inyector, donde se mezcla con una corriente de agua auxiliar, obteniéndose un agua fuertemente concentrada (entre 1 y 3 gr/l) que es la que se envía al agua objeto de la cloración(34).

5. CLORAMINAS

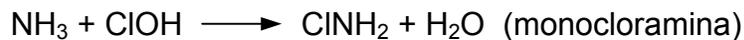
Las cloraminas como desinfectante fueron identificadas en las primeras décadas de 1.900 al comprobarse que la desinfección con cloro tenía lugar en dos fases. En la fase inicial, el cloro al oxidar una serie de sustancias presentes en el agua desaparece rápidamente y en una segunda fase, cuando en el agua hay presente amoníaco, la acción bactericida continua a pesar de que el cloro libre hubiera desaparecido debido precisamente a la acción de las cloraminas formadas.

La combinación del amoníaco con el cloro en el proceso de tratamiento del agua conocida también como cloración con cloro combinado o cloraminación, tiene como primer objetivo aportar un desinfectante residual al agua más persistente que el cloro libre a la vez que evita ciertos sabores de algunos compuestos clorados. También puede añadirse a las cloraminas una función importante y es la de no formar, o al menos formar en menor grado los conocidos subproductos de la desinfección. Al ser más estables que el cloro libre, resultan muy efectivas para controlar el recrecimiento bacteriano en la red y las corrosiones de la misma.

Cuando el agua objeto de la cloración contiene amoníaco u otros compuestos nitrogenados, se forman compuestos de adición llamados cloraminas. A

continuación vamos a tratar de estos compuestos, ya que en muchos casos se incorpora en la práctica de la desinfección final amoníaco, para provocar expresamente la formación de cloraminas(23).

Las reacciones de formación de las cloraminas son:



La formación de una u otra cloramina, así como la velocidad de reacción, se ve regida por el pH del agua, la temperatura y la proporción de cloro y amoníaco.

La distribución de la monocloramina y dicloramina se ajusta a la siguiente ecuación de equilibrio:



En la figura 8. (según Palín) se muestra la relación entre las diferentes especies de cloraminas en función del pH. A pH mayor de 7 y una relación molar de cloro/amoníaco igual a 1 o menor, predominará la formación de monocloramina, su tasa de formación es muy rápida (su rapidez será máxima a pH=8,3). La tasa de formación de la dicloramina es más baja, su máximo se alcanza a pH próximos a 4,5, a pH menor de 4, fundamentalmente, sólo habrá tricloruro de nitrógeno, por

tanto, a los pH normales del tratamiento, próximos a 7-8, la principal cloramina que se encuentra presente es la monoclорamina, mientras que la dicloramina no representará un porcentaje significativo en el total, a menos que la relación molar cloro/amoníaco sea mayor de 1 y menos aún la tricloramina.

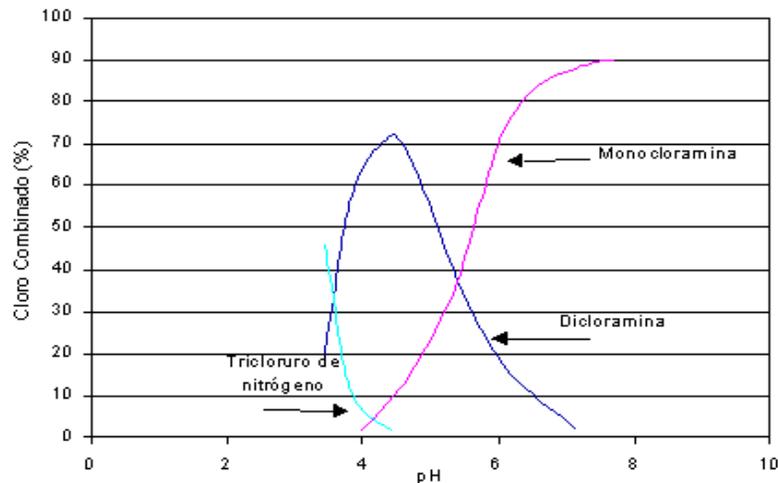


Figura 8. Especies de cloraminas en función del pH.

La presencia de tricloramina comunica al agua un mal sabor y usada para piscinas causa irritaciones en los ojos.

Las reacciones de óxido-reducción del amoníaco y el cloro existen en el sentido de oxidación del amoníaco y reducción del cloro, cuando la relación molar de cloro a amoníaco es mayor de 1. Cuando esta relación está en proporción de 2:1, el proceso es prácticamente completo, desapareciendo tanto el amoníaco como el cloro oxidante. Este punto es conocido como punto de inflexión de estas reacciones y se corresponde al punto de breakpoint para la cloración de un agua natural o residual, como ya señalamos(23).

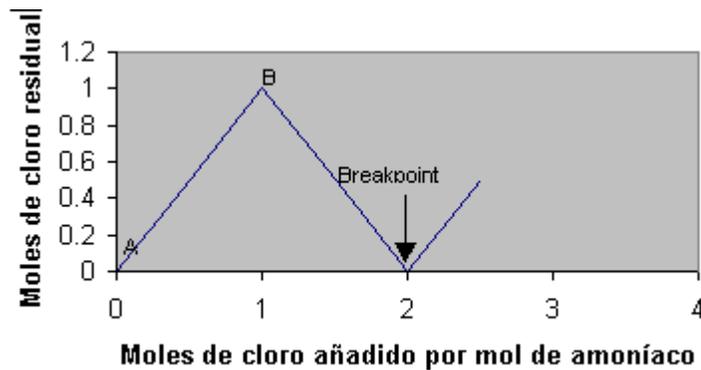


Figura 9. Relación cloro amoníaco en el punto de quiebre

En la figura 9, se representa la gráfica teórica de estas reacciones y en ella vemos que entre los puntos A y B, la relación molar de cloro a amoníaco es menor de 1 y el cloro que ha reaccionado con el amoníaco pasa a formar casi totalmente monocloramina. Al pasar del punto B, las monocloraminas van pasando a dicloraminas hasta llegar al punto de inflexión, donde las cloraminas habrán sido destruidas (en este punto existirá una pequeña cantidad de cloro residual irreducible, formado por cantidades iguales de mono y dicloraminas con trazas de cloro libre (ClOH), cuando la relación molar cloro/amoníaco es 2:1. A partir del punto de inflexión, el cloro está en forma de cloro residual libre y la monocloramina ha sido oxidada a nitrógeno gas, según la siguiente reacción(23):



Para la mayoría de las aguas superficiales, la representación gráfica que nos indica la evolución del cloro residual a medida que se va aplicando cloro, es

diferente y menos acusada que la antes expuesta para un agua con solo amoníaco.

Las cloraminas empleadas en la cloraminación de las aguas generalmente se generan in situ. En el mercado existen cloraminas orgánicas preparadas, con un poder desinfectante del orden de la mitad del de la monocloramina y sólo se emplean para desinfección de aguas en situación de urgencia o de catástrofe. En la formación de cloraminas, mediante reacción del cloro y amoníaco, la relación óptima cloro/amoníaco más aceptada para la formación de monocloraminas, es 4/1 en peso, a su vez la monocloramina originará menos problemas de sabores y olores que la di y tricloramina que se formarán a más altas relaciones cloro/amoníaco o más bajos pH.

Se ha indicado anteriormente que la velocidad de formación de la monocloramina es rápida y muy sensible al pH; en la tabla 9 se muestra para una conversión al 99% de cloro en cloramina, los tiempos de reacción calculados a una temperatura de 25°C y para una relación cloro/amoníaco 3:1 (White 1992)

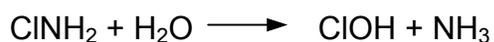
Tabla 9. Tiempo y pH para la conversión de cloro en cloramina

pH	Tiempo (sg)
2	421
4	147
7	0,2
8,3	0,07
12	33,2

La temperatura como en los demás desinfectantes, hace corresponder una mayor eficacia de las cloraminas como desinfectante a mayor temperatura. En conjunto, la eficiencia disminuye al aumentar el pH y bajar la temperatura. En ensayos realizados para inactivación de E. Coli y poliovirus, por Wolfe, Delly y otros, se comprobó una inactivación 60 veces menor a pH 9,5 y temperatura entre 2 y 6°C que a pH 7 y temperatura entre 20 y 25°C.

Aunque son pocos los estudios realizados para identificar los productos resultantes de la reacción de las cloraminas con las sustancias orgánicas e inorgánicas del agua, si se sabe que son menos efectivas como desinfectante que el cloro libre y que los subproductos que se forman lo son en menos concentración.

La capacidad bactericida de las cloraminas es atribuida al grado de hidrólisis de estas y también a la propia cloramina no hidrolizada. La pequeña constante de hidrólisis de las cloraminas sólo permite la formación de una pequeña cantidad de ácido hipocloroso, pero a medida que éste desaparece, la hidrólisis continua de la cloramina proporciona más ácido hipocloroso. La hidrólisis viene representada por la reacción(31):



Se forma igualmente amoníaco, de manera que a medida que la cloramina se va degradando es mayor la concentración de amoníaco libre, que podrá ser utilizado

como nutriente por determinadas bacterias y transformado en nitritos. En el hipotético caso de que toda la cloramina, en su hidrólisis, quedara finalmente como amoníaco, podría volver a rechlorarse y formarse de nuevo cloraminas(23).

El cloro residual combinado (cloraminas) tiene menor poder oxidante y bactericida que el cloro residual libre (ClOH y ClO^-), como queda reflejado en la tabla 10, en la que se compara la concentración de cloro residual libre después de un tiempo de contacto de 10 minutos, con la concentración de cloro residual combinado (cloraminas), después de un tiempo de contacto de 60 minutos a diferentes valores de pH, para lograr una efectiva desinfección.

Tabla 10. Concentración de cloro libre y combinado a diferentes pHs después de un determinado tiempo.

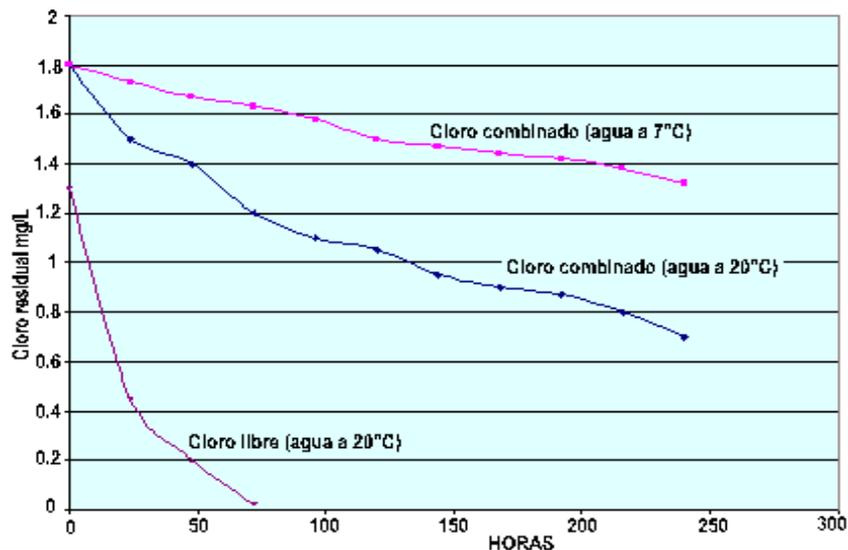
pH	Cloro residual libre	Cloro residual combinado
6	0.2	1.0
7	0.3	1.5
8	0.4	1.8
9	0.8	no se utiliza

Aún cuando el poder desinfectante de las cloraminas es menor que el del cloro libre, aproximadamente 25 veces menor que éste a igual tiempo de contacto, pH y temperatura, en cambio son más estables que éste, con lo cual, el cloro residual combinado que se encuentre en un agua formando las cloraminas es más persistente, siendo este el motivo principal por el cual se las utiliza incorporando expresamente amoníaco al agua, sobre todo en conducciones largas y redes de distribución extensas, como fase final del proceso de tratamiento, después de

haber estado un cierto tiempo de contacto del agua con cloro libre. También puede indicarse como factor favorable, en el caso de las cloraminas, el hecho de no formar compuestos orgánicos del tipo de los haloformos(23).

En la figura 10, queda reflejado, de acuerdo con una serie de ensayos realizados, la mayor duración en cuanto a tiempo de permanencia de cloro residual cuando se forman las cloraminas, que cuando no se emplea amoníaco y por tanto no hay cloro residual combinado, sino cloro libre.

Figura 10. Tiempo de permanencia de cloro residual y cloro libre



En cuanto a las reacciones del cloro con el amoníaco, hemos de añadir a lo expuesto que en el agua pueden encontrarse dos clases de compuestos de nitrógeno: nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico, siendo más fácil de tratar el agua que sólo contiene el primero, que la que contiene ambos. El nitrógeno

amoniaco puede ser eliminado, después de haberse formado las cloraminas, por el cloro libre en pocos minutos, dada la rapidez de la reacción, mientras que la reacción entre el cloro libre y el nitrógeno orgánico puede durar varios días, con lo cual, si estas reacciones tienen lugar cuando el agua está ya en la red de distribución, podrán desarrollarse determinados sabores y olores a la vez que va disminuyendo el cloro residual. Por otra parte, las aguas con nitrógeno orgánico no presentan claramente el punto de inflexión de la curva estudiada o breakpoint, sino una zona horizontal.

La fuente del nitrógeno orgánico en las aguas son las sustancias proteínicas y la orina, ambas presentes en las aguas domésticas residuales. La orina contiene sustancias que reaccionan con el cloro para formar compuestos clorados estables, que presentan características de dicloramina en algunos de los métodos de análisis.

Son muchas las investigaciones que han puesto de manifiesto el buen comportamiento de las cloraminas en el control de sabores y olores, control del recrecimiento microbiológico en la red, mayor estabilidad y mantenimiento de desinfectante residual a lo largo de la red de abastecimiento que el cloro libre y menor cantidad de THMs formados.

La propia USEPA sugiere el empleo de cloraminas para reducir los THMs totales, llegando a medirse reducciones entre el 40% y el 80% (los ácidos haloacéticos no son reducidos tan considerablemente). Ya en 1975 en EEUU se muestrearon 10

abastecimientos que usaban cloraminas y se estudiaron y determinaron las concentraciones de THMS, estas variaron de 1 a 81 mg/l con una media de 19mg/l, mientras que la concentración de las estaciones de tratamiento que usaban cloro libre (al breakpoint) varió entre 1 y 472 mg/l., con una media de 72 mg/l.

Es en Estados Unidos donde mas extendido está el uso de cloraminas. Abastecimientos importantes como Dallas, Denver, St.Louis, Orleans, Indianapolis, Milwaukee, Miami, Portland, Philadelphia y otros muchos, emplean cloraminas desde hace años. En Europa no está muy extendido su empleo, siendo Madrid uno de los principales sistemas de abastecimiento que las utiliza como desinfectante secundario en la red, desde hace más de 30 años.

Puede resumirse que las cloraminas sólo deben emplearse como desinfectante secundario y como protección contra recrecimientos microbiológicos en la red, especialmente sin no se tiene conseguido un sistema de abastecimiento biológicamente estable, además es más caro conseguir un abastecimiento estable a base de un tratamiento del agua completo y amplio, incluyendo filtros de carbón, junto a una óptima y eficaz gestión de la red, que emplear cloro o cloramina para controlar el recrecimiento en la red.

Considerando que la Directiva de la U.E. limita el contenido de amoníaco a un máximo de 0,5 mg/l, y admitiendo que el amoníaco que se encuentra combinado para formar las cloraminas y añadido expresamente con este fin, está sometido a

esta limitación, el contenido máximo de cloraminas, (monocloramina) para una relación cloro/amoníaco en peso de 4/1, será de 2 mg/l.

Respecto al punto de aplicación del cloro y el amoníaco, suele ser indiferente, en principio sería aconsejable añadir primero el amoníaco cuando hay riesgos de que el cloro forme, con las sustancias orgánicas presentes en el agua, compuestos que comuniquen olores y sabores desagradables. No obstante, y dado que la mayor parte de los sistemas que emplean cloraminas como desinfectante secundario, previamente han empleado cloro para conseguir la oxidación y desinfección en la propia estación de tratamiento, ya es irrelevante el punto de adición del amoníaco respecto al de adición del cloro, el objetivo es conseguir que todo el cloro libre presente pase a cloro combinado al añadir amoníaco, procurando eso sí, una eficaz mezcla y minimizando así posteriormente la formación de subproductos. También habrá que tener presente que si ya en la red, un agua clorada se mezcla con agua cloraminada, la cloramina decrecerá y la monocloramina se transformará en dicloramina y tricloramina o tricloruro de nitrógeno, pudiéndose por tanto llegar a la desaparición total del cloro residual.

Puede ser también ilustrativo, trasladar aquí los resultados de unos ensayos que realizaron en Canadá, otro país donde también se utilizan cloraminas, comparando la cloración y la cloraminación, concretamente en el área metropolitana de Vancouver (Greater Vancouver Water Distric) que abastece a 1,5 millones de consumidores, fueron realizados ensayos a escala por Douglas G. Neden y otros, para comparar la cloración y la cloraminación en el recrecimiento

bacteriano del sistema de abastecimiento, al ser éste uno de los principales problemas que venían observando y que se ponían de manifiesto en los lugares de la red de mayor tiempo de retención y en épocas de mayor temperatura. Se seleccionaron tres áreas o zonas dentro del sistema de abastecimiento: Una de control que no se trata con desinfectante secundario alguno, otra área que recibió cloro libre como desinfectante secundario y una tercera que se trató con cloramina como desinfectante secundario(23).

En las tres áreas se analizaron el cloro residual, coliformes, recuento de bacterias heterotróficas en placa y turbidez. Tanto el cloro como las cloraminas se mostraron efectivos en la reducción del recrecimiento bacteriano en el sistema de distribución, pero el agua cloraminada tuvo menor recuento en placa, menor olor y sabor, menores positivos para coliformes y un residual más estable.

Durante dos años, se estuvieron realizando los análisis indicados en esas tres áreas. Para el estudio del recrecimiento bacteriano en la red de distribución se instaló en cada área una estación de ensayo con tres conducciones de material diferente: fundición de hierro (usado y limpio), pretensado de hormigón y PVC. Las muestras de agua eran tomadas tres veces a la semana y las muestras del biofilm fueron tomadas en cada estación de observación y de cada uno de los tres tipos de tubería cada 5 ó 6 semanas.

El promedio de cloro residual en el área de control fue menor de 0,1 mg/l; en el área clorada varió entre 0,2 y 0,5 mg/l y en área cloraminada los valores de cloro residual combinado oscilaron entre 1,0 y 2,5 mg/l.

Los resultados del análisis (coliformes totales y recuento de bacterias en placa HPC) del biofilm extraído del interior de los diferentes tramos de tuberías quedan resumidos a continuación:

- ✧ El número de muestras de biofilm, positivos para coliformes no difiere mucho entre los tres tipos de tuberías, siendo menores para el caso del área cloraminada que para las áreas de control y clorada.
- ✧ El recuento de bacterias sobre placa (HPC) son igualmente menores en el agua cloraminada.
- ✧ Los niveles de HPC en el biofilm son más bajos en la tubería de PVC y generalmente más altos en la de hierro fundido.

Se concluyó que la cloramina es más efectiva como desinfectante secundario para controlar el recrecimiento bacteriano en el abastecimiento estudiado de Vancouver, mostrando niveles más bajos de coliformes y recuento de bacterias, produce un cloro residual más estable y un menor sabor y olor, siendo a la vez más barato su implantación y operación que una rechloración.

5.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LAS CLORAMINAS

Entre las ventajas del empleo de las cloraminas como desinfectante secundario pueden destacarse las siguientes:

- ✧ No reaccionan con los compuestos orgánicos como lo hace el cloro libre en la formación de los THMs, pero en cambio no reduce en el mismo grado la formación de ácidos haloacéticos.
- ✧ Son muy efectivas en el control del biofilm dada su gran capacidad de penetrar en el interior de este biofilm.
- ✧ Al no reaccionar con los compuestos orgánicos, se pueden disminuir algunos olores y sabores que el cloro libre podría llegar a potenciar, disminuyendo las quejas de los consumidores.
- ✧ Son más estables y de más duración como residual que el cloro libre o el dióxido de cloro, con lo cual proporciona una mejor protección contra el recrecimiento bacteriano en los grandes abastecimientos y redes con zonas de excesivo tiempo de retención, (presenta un buen efecto bacteriostático).
- ✧ Su preparación es fácil.

Por supuesto que el empleo de cloraminas puede presentar desventajas y efectos adversos, entre los que cabe señalar principalmente episodios de nitrificación. El

amoniaco en exceso sobre el requerido para formar la cloramina y a veces generado en la descomposición de estas en puntos muertos de la red, actúa como nutriente de las bacterias nitrificantes, que convertirán este amoniaco en nitritos y nitratos con los efectos adversos que éstos pueden ocasionar para la salud y la consiguiente pérdida de cloro(23).

Las condiciones más favorables para la nitrificación se darán cuando la relación cloro/amoniaco sea baja (menor de 3), los contenidos de sustancias orgánicas en el agua sean altos, los tiempos de retención en la red y las temperaturas sean igualmente altos (mayores de 20°C), ausencia de luz y oxígeno y tuberculaciones en las tuberías, biofilm y sedimentos.

Presenta otras desventajas como son: Su menor capacidad de desinfección que el cloro, dióxido de cloro y ozono. No oxidan a ciertas sustancias frecuentes en muchas aguas como son el hierro, manganeso y sulfuros. Hay que prepararlas generalmente in situ. Finalmente hay que indicar el efecto adverso de las cloraminas si se emplean las aguas con cloraminas en tratamientos de diálisis, en enfermos renales, y en actividades piscícolas.

En el aspecto positivo hay que señalar que en ensayos realizados por diversos investigadores sobre animales de laboratorio, expuestos a la monocloramina del agua, no se han observado efectos tóxicos aún a altas dosis; por otra parte, en el ensayo de Ames de mutagenicidad de la Salmonella, el concentrado orgánico del

agua potable tratada con monoclóramina produjo la mitad de mutagenicidad que la misma agua tratada con cloro.

5.2 ESTUDIO REALIZADO SOBRE MONOCLORAMINA Y LEGIONELOSIS

Algunos de los datos reflejados en un artículo sobre Monoclóramina y Legionelosis, publicado recientemente por Jacob L. Kool y otros, que recogió resultados y estudios realizados sobre brotes de legionelosis causados por el agua en Estados Unidos y que fueron previamente publicados en *The Lancet* (1.999), se exponen a continuación(23).

Aunque los efectos de los diferentes métodos de desinfección del agua sobre la presencia de la bacteria *Legionella* no han sido muy estudiados, los investigadores llevaron a cabo un estudio epidemiológico estadístico para mostrar que la desinfección del agua potable puede ayudar a prevenir la enfermedad causada por la *Legionella*. Se compararon los métodos de desinfección del agua potable que abastecía a 32 hospitales donde habían ocurrido brotes de Legionelosis entre 1979 y 1997, con los de desinfección del agua que abastecía a 48 hospitales escogidos aleatoriamente y que sirvieron como control. Los hospitales abastecidos con agua tratada con cloro libre como desinfectante residual presentaron 10 veces más riesgo a experimentar brotes de legionelosis que los hospitales que se abastecían con agua tratada con monoclóramina.

Hay que señalar que los autores de este estudio seleccionaron sólo aquellos brotes en los cuales el agua potable estaba implicada directamente en la fuente del brote epidemiológico, excluyendo los casos en los cuales los brotes de Legionelosis estaban asociados con torres de refrigeración, conductos de aire acondicionado u otras instalaciones y equipos que producían aerosoles no ligados directamente con el agua potable.

En este mismo artículo de J.L. Kool se describe un estudio epidemiológico realizado en 1.999 por el Centers for Disease Control and Prevention (CDC) en colaboración con la Society for Healthcare Epidemiology of America, que confirmó que los episodios de legionelosis ocurren con menor frecuencia en hospitales que se abastecen con agua que contiene monoclóramina que en otros hospitales. Igualmente se indica como un hospital en la zona de Washington, D.C en colaboración con un laboratorio, realizaron un estudio piloto con cloraminas, obteniendo óptimos resultados. La concentración de Legionella decreció más del 99% (2 log) en pocas horas de contacto.

Respecto al estudio estadístico indicado y aunque una relación estadística por sí misma no prueba una relación causa-efecto, ni explica el mecanismo fundamental que subyace, sí se desprende, para los autores, que las conclusiones son biológicamente admisibles y soportadas por evidencias microbiológicas.

Estos investigadores atribuyen la mayor efectividad de la monoclóramina a que penetra más eficientemente en el biofilm, además de ser más estable en las largas

conducciones de la red de abastecimiento. Este efecto protector de la monoclaramina contra la Legionella, puede ser otra razón para considerar y plantearse el empleo de la monoclaramina como desinfectante residual(23).

6. DIÓXIDO DE CLORO

La utilización del ClO_2 como desinfectante del agua se remonta a principios del presente siglo, pero es bastante después cuando se emplea más generalmente como alternativa al cloro, al comprobar que proporciona al agua mejores propiedades organolépticas. Por otra parte, la mayor degradación actual del agua y los problemas derivados de la formación de trihalometanos y otros compuestos organoclorados, abren nuevas posibilidades y ventajas en el empleo del ClO_2 .

El dióxido de cloro es un gas amarillo verdoso, similar en aspecto y color al cloro, es bastante inestable y no puede ser comprimido ni licuado sin peligro de explosión, por lo que debe ser generado in situ, en el lugar y en el momento de su empleo. Es potencialmente explosivo en contacto con el aire, a una concentración del 10 % en volumen a la presión atmosférica, si hay una fuente de ignición. Es unas 2,4 veces más denso que el aire, muy soluble en agua, unas cinco veces mayor que el cloro, y tiene un poder de oxidación de 2,5 veces mayor que el cloro. Su poder bactericida está poco afectado por el pH a valores de entre 6 y 10, al contrario de lo que ocurre al cloro. El poder oxidante del dióxido de cloro es mayor que el del cloro. Su acción bactericida es muy rápida, siendo su nivel más alto de desinfección antes de los dos primeros minutos de contacto. Oxida y reacciona con el hierro y manganeso a velocidades de reacción mayores que con

el cloro. No forma clorofenoles. No reacciona con el amoníaco; por tanto no forma cloraminas. No forma trihalometanos, como se pone de manifiesto en ensayos realizados en EE.UU por diversos autores, los cuales se reproducen en la tabla 11. Estos ensayos se realizaron por Kühn, con diversas muestras de agua destilada a las que se añadió una determinada cantidad de ácido húmico (precursor) y bromuro, tratándose con diversos oxidantes, entre los que figuran el cloro y el dióxido de cloro, midiendo después los trihalometanos formados(35).

Tabla 11. Formación de productos secundarios con diferentes tipos de oxidantes

	SUSTANCIAS AÑADIDAS (mg/l)		OXIDANTES (mg/l)		TRIHALOMETANOS (µg/l)				
	Acido húmico	Br ⁻	Cl ₂	ClO ₂	CHCl ₃	CHBrCl ₂	CHBr ₂ Cl	CHBr ₃	TOTAL THMs
AGUA DESTILADA	5		5		26,9	0.6	n.d	n.d	27.5
	5			5	0.2	≤ 0.1	n.d	n.d	0.3
AGUA DESTILADA	5	2	5		4.6	6.0	11.1	66.8	88.5
	5	2		5	≤ 0.1	≤ 0.1	n.d.	n.d.	0.2
AGUA DESTILADA	10	10	10		13.7	15.8	19.3	173.6	224.4
	10	10		10	0.2	n.d.	n.d.	n.d.	0.2
AGUA DESTILADA	10				0.6	0.1	≤ 0.1	0.1	0.9
	10	10			0.5	0.1	0.7	153.7	155.0

n.d= No detectable

La búsqueda para la sustitución del desinfectante de cloro resulto tener algunos candidatos. Aunque ninguno de los desinfectantes es perfecto, el dióxido de cloro es una muy buena alternativa debido a las características que se dan a continuación(6).

6.1 DIÓXIDO DE CLORO ESTABILIZADO

Como el ozono y el cloro, el dióxido de cloro es un biocida oxidante y no una toxina metálica. Esto significa que el dióxido de cloro mata microorganismos por la interrupción del transporte de nutrientes a través de la membrana celular, no por interrupción del proceso metabólico. El dióxido estabilizado de cloro ClO_2 esta protegido en soluciones acuosas. Añadiendo ácido hasta una requerida concentración se activa el desinfectante(6).

6.2 REACCIONES

De los biocidas oxidantes, el dióxido de cloro es el oxidante mas selectivo, pero el ozono y el cloro son mucho mas reactivos que el dióxido de cloro, y serán consumidos por compuestos muy orgánicos. El dióxido de cloro sin embargo, solo reacciona con compuestos de sulfuro reducidos, y aminas secundarias y terciarias, y algún otro reactivo reducido orgánico activo. Esto permite menor dosificación de dióxido de cloro para lograr un residuo mas estable que el ozono y el cloro.

El dióxido de cloro generado correctamente (todos los dióxidos de cloro no son creados igual), se puede utilizar con eficacia en un cargamento orgánico mucho más alto que el ozono o el cloro debido a su selectividad(6).

6.3 EFECTIVIDAD

La eficacia del dióxido de cloro es por lo menos tan eficaz como el cloro, aunque en concentraciones más bajas. Pero hay mas ventajas importantes(6):

- La eficacia bactericida es relativamente inafectada con valores de pH entre 4 y 10.
- El dióxido de cloro es claramente superior al cloro en la destrucción de esporas, bacterias, virus y otros organismos patógenos en una base residual igual.
- El tiempo requerido de contacto para el ClO_2 es mas bajo.
- El dióxido de cloro tiene una mejor solubilidad.
- Ninguna corrosión se asoció a altas concentraciones del cloro.
- Reduce costos de mantenimiento a largo plazo.
- El dióxido de cloro no reacciona con NH_3 o NH_4^+ .
- Destruye los precursores THM y aumenta la coagulación.
- El ClO_2 destruye los fenoles y no deja ningún olor distinto.
- Es mejor en separar compuestos del hierro y del magnesio que el cloro, especialmente en complejos límite.

6.4 APLICACIÓN

El dióxido de la cloro se puede utilizar de dos maneras. La primera es la generación in situ con un proceso especial. La segunda es la posibilidad para pedir el dióxido de la clorina en su forma estabilizada (SCD). SCD se activa in

situ siempre que su uso sea deseable, puede ser dosificado en un proceso existente o nuevo donde se requiere la desinfección. Esto le hace un desinfectante fácil de utilizar, seguro y versátil. El sistema de la dosificación es compacto, seguro, flexible y bajo en mantenimiento(6).

6.5 PUNTOS DE APLICACIÓN

6.5.1 Prevención y control de la Legionella. En la prevención y el control de la enfermedad de la legionella que causaba microbios, el dióxido de la clorina ha tomado un papel eminente. Las características específicas del desinfectante se cercioran de que el ClO_2 consiga el trabajo hecho donde otros fallan. La película biológica en la tubería puede proteger legionella contra la mayoría de los desinfectantes. El dióxido de la clorina sin embargo quita la película biológica y mata a las bacterias, a las esporas y a los virus(6).

18.1.6 Eliminación de la película biológica y control. Una película biológica es una capa de microorganismos contenidos en una matriz (capa del limo), que se forma en superficies en contacto con agua. La incorporación de patógenos en las películas biológicas puede proteger a los patógenos contra concentraciones de los biocidas que matarían o inhibirían de otra manera a esos organismos suspendidos libremente en agua.

Biofilms proporciona un asilo seguro para los organismos como *Listeria*, *E. coli* y el *legionella* donde pueden reproducirse a los niveles donde la contaminación de los productos que pasan a través de esa agua llega a ser inevitable. Biofilm puede ser observado en la foto 1.

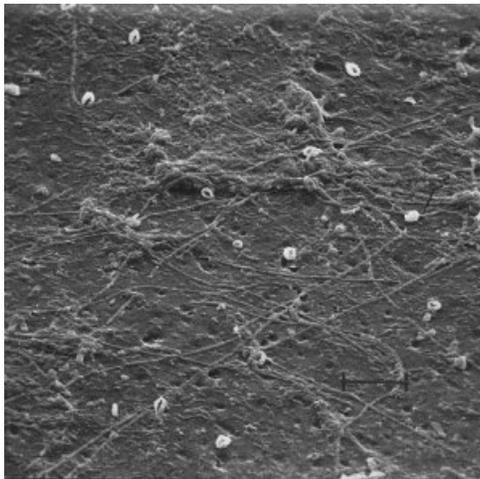


Foto 1. Legionela en Biofilm

Se ha probado más allá de la duda que el dióxido de cloro quita la película biológica de sistemas del agua y evita que se forme cuando está dosificado en un nivel bajo continuo. El hipoclorito por otra parte se ha demostrado tener poco efecto en películas biológicas(6).

18.1.6 Tratamiento de torres de refrigeración y sistemas de agua caliente y

fría. La limpieza y la desinfección de torres de refrigeración es esencial por varias razones, la mayoría de las cuales son bien conocidas. Limpiar las tuberías significa una eficacia más alta del intercambio de calor, mejora del curso de la vida de la bomba y bajan costos de mantenimiento.

La mayoría de la gente sin embargo, es desconocedora con el hecho de que las torres de refrigeración plantean un riesgo de salud posible. La condición de alta temperatura es ideal para el crecimiento de varios organismos patógenos (como legionella).

El uso del dióxido de cloro viene con varias ventajas: Es un desinfectante y un biocida de gran alcance, previene y quita la película biológica, no es necesario ningún vertido con agua fresca, los efectos corrosivos del dióxido de la clorina son mínimos comparados a los efectos corrosivos del agua del grifo, no se requiere acidificación, El dióxido de cloro se puede utilizar como aerosol por lo tanto todas las piezas pueden ser alcanzadas fácilmente, y por ultimo pero no menos importante: menos consecuencias para el medio ambiente(6).

6.5.4 Depuradores. Los depuradores son similares en diseño a las torres de refrigeración. La diferencia primaria entre los dos es que los depuradores son sistemas presurizados, mientras que las torres de refrigeración son sistemas de vacío. El depurador recircula el agua y la rocía a través de la tapa del sistema, contador-actual a la circulación de aire. La función de recircular el agua es absorber olor causado por las especies del aire. El dióxido de la cloro agregado al agua recirculada reacciona rápidamente con las especies que causan olor que se han absorbido en el agua, así como esas especies que siga habiendo en el aire. Generalmente, una residual muy baja del dióxido de cloro, alrededor de 0.2 ppm, es suficiente para asegurar el control del olor(6).

6.5.5 Desinfección de agua potable. El dióxido de la clorina se ha utilizado por años en la desinfección del agua potable (en los E.E.U.U. desde 1944). La necesidad se presentó cuando fue descubierto que el cloro y los productos similares formaban algún residuo peligroso (subproductos de la desinfección) como THM (trihalometanos). Desde entonces algunas compañías de agua emplazadas en el Reino Unido y EE.UU han comenzado a usar ClO_2 .

Hay sin embargo más razones para utilizar el dióxido de cloro: la eficacia bactericida es relativamente inafectada con pH entre los valores de 4 y 10, el dióxido de cloro es claramente superior al cloro en la destrucción de esporas, bacterias, virus y otros organismos patógenos (incluso cryptosporidium y giardia) en una base residual igual, el tiempo requerido de contacto para ClO_2 es más bajo, reduce los costos de mantenimiento a largo plazo, destruye precursores de THM, aumenta la coagulación, y algunas otras propiedades que ya mencionamos anteriormente(6).

6.5.6 Lavado de vegetales. El dióxido de la cloro es un producto excelente para los vegetales que se lavan. La capacidad de matar a esporas, virus y hongos en las concentraciones bajas es esencial, el ClO_2 es un producto probado que se puede utilizar para solucionar varios problemas relacionados con el alimento. No afecta gusto, olor o aspecto. Es seguro utilizarlo y se cumple con las regulaciones del alimento.

A continuación se darán algunos ejemplos donde se ha aplicado el dióxido de cloro(6):

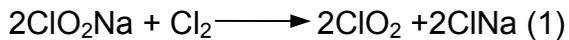
- Manzanas: control de las bacterias de E.Coli y del listeria
- Patatas: protección contra “última plaga” y la “caspa de plata”
- Lechuga, apio y cebollas: comparado el hipoclorito el contenido de vitamina-c resultó más alto y el contenido del potasio más bajo
- Cítricos: la protección contra “moho verde” y la “putrefacción amarga” demostró ser acertada en varios valores de pH, concentraciones bajas y limitado tiempo de contacto.

18.1. □ OBTENCIÓN

Hay que indicar que, dado el exceso de cloro requerido en la preparación del dióxido, se pueden formar algunos compuestos organoclorados en función de ese exceso. En el tratamiento del agua, se prepara en la propia planta de tratamiento, haciendo reaccionar una solución de clorito sódico con una solución clorada (vía cloro) o con una solución de ácido clorhídrico, obteniéndose finalmente una solución acuosa con una concentración de 1 a 3 gr/l. de ClO_2 , consiguiéndose así un manejo con gran seguridad.

La generación de las disoluciones acuosas de ClO_2 , vía cloro, tienen lugar mezclando en una columna de reacción agua clorada, con una concentración en cloro entre 1 y 3 gr/l, y una disolución de clorito sódico al 25 %, bastando un tiempo de contacto de dos minutos(35).

Las reacciones de formación de dióxido de cloro, se pueden resumir en:



o bien teniendo en cuenta la hidrolización del cloro:

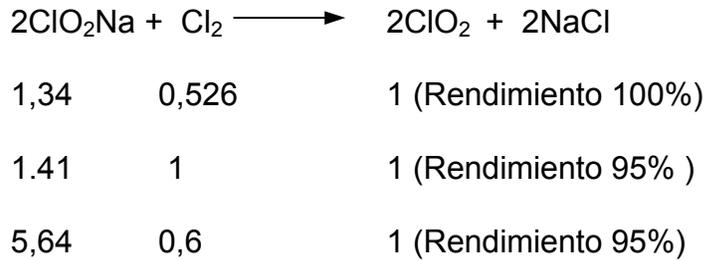


Para obtener un rendimiento, en la transformación de clorito a dióxido de cloro, superior al 95 %, es necesario un exceso de cloro. A este respecto, Masschelein ha determinado el exceso de cloro en relación con la concentración inicial de éste. En la práctica, el pH final es alrededor de 5, pero para rendimientos mayores del 95 % son necesarios pH de generación más bajos, entre 2 y 3.

El clorito sódico es un sólido muy inestable. En la generación de dióxido de cloro se emplea una solución de 300 Gral (25 % en peso), que es la forma comercial más usual, estable y fácil de manejar. No obstante, hay que tener en cuenta que en caso de evaporación y quedar en forma sólida, aumenta su poder comburente, por lo que deberá evitarse su contacto con combustibles tales como, grasas, aceite, madera, tejidos, papeles, etc., y sustancias reductoras. Asimismo deberá procurarse que no se genere de forma incontrolada el gas ClO_2 entrando en contacto con ácidos o sustancias ácidas.

Las cantidades de cloro y clorito necesarios para generar el ClO_2 vienen dadas por la reacción (1), para un rendimiento estequiométrico del 100%. Si consideramos

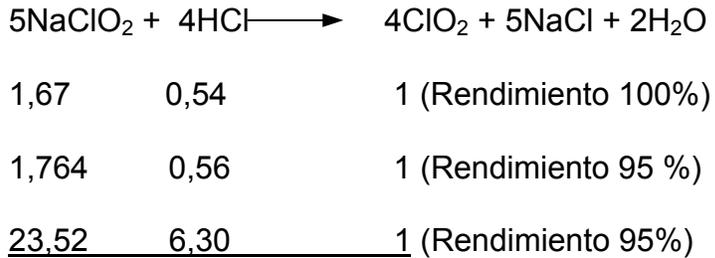
como rendimiento la relación entre la cantidad de ClO_2Na estequiométrica y la real necesaria para producir una cantidad dada de ClO_2 , veremos según la reacción indicada, que para un rendimiento del 95%, será necesario 1,41 de clorito en lugar de 1,34 (rendimiento 100% reacción estequiométrica). Puesto que el clorito empleado es una solución del 25%, serían necesario 5,64 de este clorito al 25% en peso(35).



A partir de estos valores, y en función de los precios actuales de estos productos, puede indicarse que el coste del clorito es diez veces mayor que el del cloro. No hay que olvidar que, aunque el coste sea mayor en el caso del ClO_2 , son necesarias menores dosis de este para conseguir los mismos efectos que el cloro(35).

18.1.6 Generación de ClO_2 vía ácido clorhídrico. Generalmente, para generaciones menores de 1 kg/h de ClO_2 , o cuando no se dispone de agua clorada, se emplea la acidificación del clorito, esencialmente mediante ácido clorhídrico, ya que con él se introduce un ión común.

Esta reacción es más lenta que la del clorito con el cloro. La solución de clorito empleado es del 7 al 12 % y la del ácido clorhídrico del 9% (35).



Clorito: 7,5 % ; Ácido clorhídrico: 9%

Para aproximarse al rendimiento teórico se requiere un exceso de HCl, llegándose a una relación 1:1 en peso de HCl y NaClO₂, debiendo alcanzarse un pH < 0,5 en la dilución del ClO₂ formado que sale del reactor, ya que para un pH mayor, la reacción es muy lenta. Por otra parte, dada la elevada concentración en ClO₂ que sale del reactor, del orden de 30 g/l, el proceso de generación se debe realizar en vacío(35).

18.1. □ ENSAYOS CON DIÓXIDO DE CLORO

El dióxido de cloro puede ser efectivo en tratamiento de aguas potables para el control de olor/sabor en agua tratada, en la reducción de los contenidos de Fe y Mn del agua bruta. Así como capaz de reducir de forma importante la producción de trihalometanos respecto al tratamiento habitual con cloro. Desde la óptica microbiológica, su poder bactericida es superior en términos generales al del cloro y comparable al del ozono. Además tiene el interés de ser más persistente que el cloro en las redes de distribución de aguas, con el efecto de garantía en la potabilidad del agua suministrada que esto comporta(35).

La generación de ClO_2 puede abordarse mediante dos vías de similares resultados: (a) reacción química entre NaClO_2 y HCl ; (b) reacción entre NaClO_2 y agua fuertemente clorada. Este segundo método parece ser el más usado a escala industrial.

El principal problema que se plantea a la hora de establecer un ensayo de tratamiento a escala de laboratorio, tanto con ClO_2 como con ozono, es que se trata de reactivos químicos no convencionales: deben generarse *in situ* en la planta de tratamiento. Esto supone una dificultad adicional para el ensayo. La operativa para el ClO_2 en concreto puede ser doble: por un lado el uso de disoluciones concentradas del oxidante producidas por la propia planta de tratamiento. En este caso habría que calcular su riqueza y operar mediante adición a los vasos de ensayo de alícuotas con cantidades conocidas de ClO_2 .

Una segunda opción pasa por la generación de cantidades discretas del oxidante en los propios vasos del ensayo mediante unas condiciones químicas perfectamente conocidas y suficientemente contrastadas. En este caso se parte de la reacción de generación de ClO_2 mediante acidificación de concentraciones conocidas de NaClO_2 .

Se pueden representar gráficamente las dosis añadidas de dióxido en abcisas (g/m^3) y los residuales en ordenadas. La dosis óptima del ensayo estará en 0,20 mg/l de ClO_2 . La figura 11 presenta una curva experimental de demanda de dióxido de cloro para un agua concreta(35).

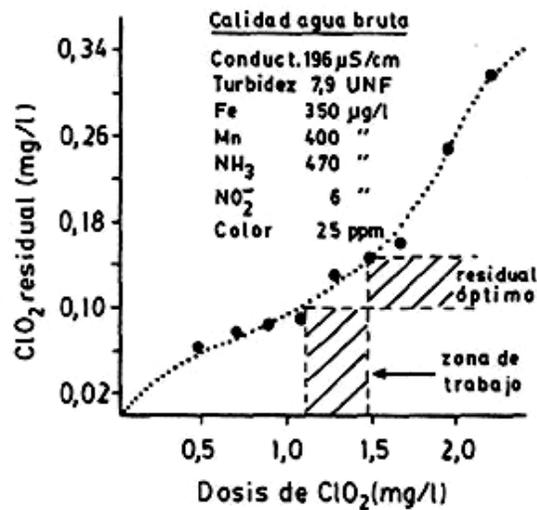


Figura 11. Demanda de ClO_2

7. OZONIZACIÓN

El ozono fue descubierto en 1785 por Van Mauten y es en 1857 cuando Werner von Siemens diseña un generador de ozono. En 1893 se usó por primera vez para desinfección del agua en Holanda, y 1906 se aplica en una planta de tratamiento en Niza. En los últimos 25 años, los mayores avances y desarrollos en este campo, han propiciado una importante mejora en los equipos productores y un mayor empleo en la desinfección del agua(38).

El ozono ha sido usado para la desinfección del agua potable en la industria municipal de aguas en Europa durante 100 años, y usado por un gran número de compañías de agua, donde las cantidades en exceso de 100 kg/h son comunes. En estos 100 años se ha usado en masivas cantidades, no hay una anotación de que el ozono haya causado una muerte a diferencia con el cloro!

Sin embargo, el ozono debe ser tratado con cuidado(5).

El ozono, forma alotrópica del oxígeno, es un oxidante muy energético, es utilizado como tal en la desinfección del agua, está comprobada su eficacia en oxidación de materias orgánicas e inorgánicas (entre éstas últimas destacan el hierro y manganeso). Su poder oxidante y desinfectante, mayor que el del cloro, le hace más eficaz que éste en la eliminación del olor, sabor y color del agua, así como en la eliminación de bacterias, virus y otros microorganismos. Su potencial de oxidación es 2,07 voltios, mientras el del cloro es 1,36 voltios.

La ozonización (algunos llaman ozonación) es una buena alternativa a la cloración, (principalmente en la preoxidación), cuando en el agua hay fenoles y otras sustancias orgánicas precursoras de trihalometanos. Los fenoles por la adición de cloro forman clorofenoles de sabor y olor muy desagradables, aún en concentraciones tan pequeñas como 0,01 mg/l. Los precursores de trihalometanos suelen ser sustancias orgánicas naturales como los ácidos húmicos, fúlvicos y tánicos, generalmente de procedencia vegetal, que a la vez comunican a las aguas superficiales una determinada coloración. Sobre estas sustancias orgánicas, con enlaces dobles entre átomos de carbono, actúa el ozono rompiéndolos y a medida que esto sucede, no solo el color va desapareciendo, sino que los propios precursores de los trihalometanos se van eliminando(38).

El ozono se forma de manera natural en los niveles altos de la atmósfera por la acción de las radiaciones UV procedentes del Sol, que produce la disociación iónica de la molécula de oxígeno y la reacción posterior de los iones formados con nuevas moléculas de oxígeno. A niveles más bajos de la atmósfera, se forma ozono gracias a la energía desarrollada por las descargas eléctricas en las tormentas, transformando el oxígeno en ozono. También puede generarse ozono en el arco producido en el proceso de soldadura y cuando algunos componentes de los gases de escape de los automóviles e industrias, reaccionan con la luz del Sol. El ozono es 12,5 veces más soluble en agua que el oxígeno. La solubilidad del ozono en agua depende de la temperatura de ésta y de la concentración de

ozono en la fase gaseosa. En la tabla 12 se reflejan algunos datos de solubilidad(38).

Tabla 12. Solubilidad del ozono

Concentración O ₃	5 °C	10°C	15°C	20 °C
1,5 %	11,10	9,75	8,40	6,43
2 %	14,80	13,00	11,20	8,57
3 %	22,18	19,50	16,80	12,86

Es muy inestable, motivo este que obliga a generarle insitu, en la propia planta de tratamiento de agua. Se descompone rápidamente, volviendo a originar oxígeno diatómico. La mitad de la vida del ozono en el aire es de unos 20 minutos en el agua es muy variable, dependiendo de diversos factores (temperatura, pH, sustancias presentes en el agua, etc.), puede variar de 1 minuto hasta 300 minutos. A igualdad de condiciones es más estable en agua que en el aire. Es 1,3 veces más denso que el aire(38).

Desde finales del siglo pasado el ozono y otros desinfectantes por oxidación química se han venido utilizando como productos sustitutivos del cloro. Las ventajas quedan contrastadas desde el primer momento:

- a) Mayor rapidez de acción, con lo cual los tiempos de contacto disminuyen y los depósitos de almacenamiento pueden ser más pequeños.
- b) Desaparición de los productos residuales de la cloración (sobre todo con el empleo del ozono), trihalometanos, clorofenoles, etc. que son cancerígenos y

que paulatinamente están llevando a la prohibición del cloro y algunos de sus compuestos en la fase de desinfección de los tratamientos de agua(2).

La preocupación sobre la capa de ozono y el ozono en las ciudades a menudo dan la impresión que el uso del gas ozono podría ser malo para el medio ambiente, pero no: Porque el ozono es producido a partir del oxígeno puro y vuelve al oxígeno puro, este desaparece sin dejar rastro cuando ha sido usado una vez, a diferencia de otros desinfectantes. Cuando el ozono desinfecta o descompone bacterias o contaminantes dañinos, no hay generalmente sub-productos, a diferencia de muchos agentes desinfectantes(5).

WUHRMANN y MEYRATH demostraron (1.955) que con un residual de 0,6 mg O₃/m³ en el agua la acción bactericida sobre el Escherichia Coli se realiza en 2,5 minutos. Hoy en día ya nadie discute las ventajas del ozono sobre el resto de desinfectantes.

Actualmente, y tras los últimos resultados y avances en agua de consumo de grandes poblaciones ozonizadas, se está prescindiendo del cloro totalmente. Prueba categórica de la eficacia de la ozonización es que se han encontrado pequeños residuales de ozono tras media hora y a muchos kilómetros del lugar de tratamiento(2).

7.1 OBTENCIÓN

El ozono es producido en una corriente plana del gas cuyos resultados dan consumo de energía baja y alta concentración del ozono. El consumo de energía es menos de 7 kilovatios por kilo de ozono producido. El diseño plano hace al generador de ozono muy compacto y bajo en peso, como se muestra en la foto(2).



Foto 2. Generador de ozono.

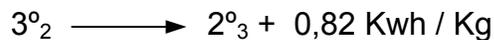
Para el tratamiento de aguas, los generadores del ozono de la serie de OT están disponibles en tres diversas series, con la producción del ozono extendiéndose a partir del 5 a 400 g/h. Cada tamaño está disponible en tres diversos modelos para diversos usos. Los diseños especiales son posibles a petición. Todos los modelos tienen un controlador de tiempo y rendimiento incorporado. Para el control automático de la dosificación(7).

7.1.1 Ozonizadores. En la producción industrial de ozono puede partirse de aire u oxígeno puro. Cuando se utiliza aire, la concentración de ozono a la salida del ozonizador varía entre el 1 y el 4 por ciento y si se emplea oxígeno puro, la concentración suele oscilar entre el 4 y el 12 por ciento en peso. En cualquier

caso, el ozono en su empleo industrial, ya sea partiendo del aire o del oxígeno puro, se obtiene por descarga eléctrica alterna de alta tensión y/o frecuencia, para evitar la formación de un arco eléctrico (descarga eléctrica silenciosa), entre dos electrodos separados por un medio dieléctrico, generalmente vidrio.

En los ozonizadores industriales, los dos electrodos son tubos concéntricos, el exterior de acero inoxidable y el interior un tubo de vidrio, que consta de una fina capa metálica depositada en la cara interna. El ozonizador está integrado por múltiples conjuntos de estos pares de tubos concéntricos(38).

La reacción de formación del ozono es:



Como alrededor del 80 al 90 por ciento de la energía se convierte en calor, el conjunto de electrodos conectados a tierra están refrigerados por agua.

Los generadores industriales de ozono se fabrican generalmente de dos tipos, el de tubos concéntricos y el de placas, las configuraciones pueden ser: vidrio-vidrio, o metal-vidrio.

La producción de ozono en estos equipos, está sujeta a una serie de parámetros interrelacionados, que influyen en gran medida en la eficaz generación o producción de ozono y que podrían reunirse en tres grupos(38):

- Parámetros del sistema: Fundamentalmente son, 1) longitud del sistema de descarga, 2) anchura del espacio de descarga y 3) configuración y espesor del dieléctrico.
- Parámetros del proceso: Estos quedan abarcados principalmente en la concentración y producción del ozono y el rendimiento o necesidades de energía específica.
- Parámetros operacionales; Estos son más numerosos, los principales son: 1) tensión, 2) tipo de tensión, 3) frecuencia, 4) densidad de potencia, 5) presión de trabajo, 6) temperatura de trabajo, 7) velocidad de corriente del gas, 8) composición y humedad del gas empleado.

Un somero análisis de estos últimos parámetros operacionales nos pone de manifiesto su influencia.

Tensión: Al aumentar esta se eleva la producción de ozono y a la vez las necesidades de potencia específica.

Tipo de tensión: La tensión de onda cuadrada supone unas condiciones, en la generación de ozono, mayores a las de onda sinusoidal.

Frecuencia: A mayor frecuencia, mayor producción.

Densidad de potencia: A mayor densidad de potencia, mayor producción.

Presión de trabajo: Para presiones entre 1 y 2 bares, el rendimiento aumenta al disminuir la presión.

Temperatura de trabajo: Las altas temperaturas, en general aumentan la descomposición de ozono.

Velocidad de corriente y concentración del gas: El aumento de la velocidad de la corriente de gas y la disminución de la concentración hace aumentar el rendimiento.

Composición y humedad: Al aumentar la concentración o contenido de oxígeno del gas de entrada, en general aumenta el rendimiento. Este disminuye por el contrario al aumentar la humedad del gas de entrada.

Partiendo de aire, este es suministrado al ozonizador a presión y exento de polvo y humedad, lo cual requiere compresores, filtros y otras unidades más complejas de secado de este aire. La mezcla de aire ozonizado, que es lo que realmente sale del ozonizador, se conduce hasta las cámaras de contacto, donde se encuentra el agua a tratar, obligándole a salir a través de difusores porosos, con objeto de que las burbujas de gas que se introducen en el agua sean muy finas, o bien mediante difusores de turbina. A las cámaras de contacto se las dota de unos extractores en la parte superior, a fin de recoger el ozono residual que no se ha consumido en su contacto con el agua y dirigirle hacia un equipo de destrucción generalmente térmica, transformándose en oxígeno. Después de

pasar por las cámaras de contacto, el agua debe contener aún una concentración próxima al 0.1 ppm(38).

Los equipos ozonizadores que parten de aire, suelen consumir del orden de 14 a 18 Kwh/kg.O₃, dependiendo de las diversas instalaciones. Con los modernos recursos de la electrónica, se han llegado a conseguir unas tensiones de explotación de ozonizadores de 10 KV (para frecuencias entre 600 y 1000 Hz). Partiendo de oxígeno se triplica la eficiencia en la producción de ozono por Kwh. La producción de 1 Kg de ozono, partiendo de oxígeno, supone un consumo de aproximadamente 7 Kwh.

Las variables operativas en la producción de ozono son, la energía aplicada, el caudal del gas de entrada, la temperatura y la eficiencia del propio generador(38).

7.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA OZONIZACIÓN

La evaluación del ozono como desinfectante presenta pros y contras, en su comparación con el cloro destacan las siguientes ventajas:

- a) Tiene mayor poder oxidante
- b) No produce trihalometanos y elimina los precursores de estos
- c) Requiere una concentración y tiempo de contacto menor (0,4 ppm durante 4 minutos es una concentración y tiempo de contacto eficaz para eliminar bacterias y virus)
- d) No altera el pH del agua

- e) Mejora la coagulación
- f) Facilita la eliminación del hierro y manganeso y reduce en gran medida el olor, sabor y color del agua(38).

El ozono también destruye determinados aceites y en concreto los del tipo de protección para el sol, que suelen formar una ligera película en las piscinas sobre la superficie del agua, este también hace que disminuyan las concentraciones de algunos compuestos orgánicos y amoniacales(2).

Como desventajas figuran:

- a) Su mayor coste, tanto en los equipos como en los costos de operación (energía eléctrica) a pesar de las menores dosis empleadas
- b) Puede formar otros subproductos perjudiciales, entre los que destacan los bromatos y aldehídos
- c) No mantiene una concentración residual persistente, lo que obliga a emplear cloro o cloraminas en la desinfección final, si se desea mantener un desinfectante residual
- d) Puede formar oxido nítrico ó ácido nítrico, que causaran corrosiones en los equipos(38).

Al ser el ozono un oxidante fuerte, puede producir trastornos en los tejidos humanos y particularmente en los ojos y pulmones. Hay establecidos unos limites para los ambientes de trabajo que se exponen en la tabla 13.

Tabla 13. Límites de exposición del ozono

Límite	Exposición
0,01 – 0,05 ppm	Olor detectable
1 ppm	8 minutos
3 ppm	15 minutos
0,1 ppm	8 minutos

8. PEROXIDO DE HIDROGENO (H₂O₂)

La oxidación química usando ozono / rayos ultravioleta y peróxido de hidrógeno/rayos ultravioleta ha resultado ser efectiva para destruir el cianuro. Debido al costo y al peligro que supone el ozono se ha puesto mayor énfasis en el peróxido de hidrógeno.

Se ha demostrado que este compuesto químico en la presencia de rayos ultravioleta es extremadamente efectivo en la destrucción de una gran variedad de compuestos orgánicos. Uno de los usos que tiene es la oxidación de compuestos orgánicos que se han despojado del agua residual utilizando un despojador de aire. El aire contaminado se somete al peróxido de hidrógeno y la luz ultravioleta para destruir los contaminantes orgánicos(28).

El peróxido de hidrógeno es extensamente usado gracias a sus muy buenas características. De hecho H₂O₂ es un oxidante seguro, eficaz, de gran alcance y versátil.

La tabla 14 recoge la escala potencial de oxidación, el peróxido de hidrógeno tiene más alcance que el cloro o el dióxido de cloro por ejemplo. Además con catálisis,

el peróxido de hidrógeno se puede convertir en radicales del oxhidrilo que es el segundo oxidante más fuerte después del flúor(29).

Tabla 14. Potenciales de oxidación de diferentes oxidantes.

Oxidante	Potencial De Oxidación, V
Flúor	3,0
Radical del oxhidrilo	2,8
Ozono	2,1
Peróxido de hidrógeno	1,8
Permanganato de potasio	1,7
Dióxido de cloro	1,5
Cloro	1,4

Hay varias ventajas al usar H_2O_2 :

- Da gran alcance
- Seguro
- Versátil
- Selectivo
- Utilizado extensamente

Los usos principales de H_2O_2 son numerosos, por ejemplo el control del olor, el control de la corrosión, el retiro de DBO/DQO, la oxidación orgánica, la oxidación de metales, la oxidación de la toxicidad y la desinfección. Además el peróxido de hidrógeno puede ser combinado con diversos procesos para mejorar los resultados: floculación/precipitación, flotación de aire, biotratamiento, filtración, adsorción del carbón, depuradores del aire e incineración.

El agente contaminador más difícil a oxidar puede requerir H_2O_2 ser activado con los catalizadores tales como hierro, cobre, manganeso u otros compuestos del metal de transición. El catalizador usado más común de la solución es el hierro, que cuando se utiliza con H_2O_2 se llama la reacción de Fenton(29).

9. DESINFECCIÓN DEL AGUA CON RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Es una solución perfecta para combatir las bacterias de Legionella y otros microorganismos en la red. También puede ser utilizado en edificios complejos tales como hoteles y hospitales. La luz ultravioleta se utiliza para desactivar inmediatamente los microorganismos con una dosis de UV correspondiente(20).

Los rayos ultravioleta (UV), constituye la franja del espectro electromagnético situada entre los 100 y los 400 nm, es decir, entre los rayos X y la luz visible. La escala expandida de la radiación UV se distribuye así(36):

Vacío – Ultravioleta:	Entre 100 y 200 nm
Ultravioleta – Onda corta (UV-C):	Entre 200 y 280 nm
Ultravioleta – Onda media(UV-B):	Entre 280 y 315 nm
Ultravioleta – Onda larga (UV-A):	Entre 315 y 400 nm

Rayos X	UV- vacío..	UV-onda corta(UVC)	UV-onda media	UV-onda larga(UVA)	Luz visible
-- 100	100 – 200	200 – 280	280 – 315	315 – 400	400 – 800

Longitud de onda en nm



Dentro de esta franja del espectro, las radiaciones que atraviesan la atmósfera terrestre y alcanzan la superficie, son las comprendidas entre los 280 nm y las de

valores próximos al infrarrojo, el resto son absorbidos por la capa atmosférica de ozono.

La radiación aplicada a la desinfección, está en la zona de onda corta (UVC), consiguiéndose mediante fuentes artificiales de UV, como son generalmente las lámparas de mercurio de baja y media presión.

La radiación UV no es una radiación óptica y por tanto el termino “luz ultravioleta” no es el más correcto, aunque realmente las radiaciones ultravioleta se comportan como las radiaciones visibles(36).

La radiación UV aplicada para la desinfección del agua, puede decirse que comenzó hace unos cien años, especialmente a partir de 1901 con el desarrollo de la lámpara de mercurio como fuente de luz ultravioleta, protegida por una envoltura de cuarzo. La primera unidad en plan experimental aplicada a la desinfección del agua, tuvo lugar en 1910 en Marsella. Su aplicación era muy reducida, (el cloro era un gran rival) pero con la implantación de las primeras lámparas de descarga de gas, a principios de los años 40, las lámparas de mercurio de alta y baja presión y las mejoras en la envoltura de cuarzo, colaboraron a un mayor empleo en la desinfección del agua. A mediados de los años 50, en Suiza y Austria, se empezaban a aplicar de forma más o menos extensa a la desinfección. A partir de los 60 se extendió su uso tanto en Europa como en los Estados Unidos, en algunos casos combinando su empleo con cloro. El poder de desinfección de una lámpara de UV, viene dado por el producto de la

intensidad o cantidad de energía por unidad de superficie y el tiempo de exposición o de contacto del agua en la cámara de desinfección. Este producto, llamado también dosis, se expresa en microwatios segundo por centímetro cuadrado ($\mu\text{w seg/cm}^2$)(36).

$$\text{Dosis} = (\text{salida en Watts} / \text{Área Cm}^2) \times \text{tiempo (s)}$$

En el poder de desinfección de las lámparas de UV, juega un papel importante el diseño del equipo llamado a veces esterilizador, principalmente sus dimensiones, ya que por ejemplo la intensidad disminuye a medida que nos alejamos de la fuente de luz y a su vez el tiempo depende del tamaño y flujo de caudal aplicado(36).

9.1 MECANISMO DE DESINFECCIÓN

La desinfección por radiación UV, no inactiva a los microorganismos por vía química como lo hacen otros desinfectantes, sino por la absorción de la luz, la cual origina una reacción fotoquímica que altera los compuestos moleculares esenciales en la función celular. La desinfección a través de radiaciones UV, tiene lugar como consecuencia de la inactivación del ácido desoxirribonucleico (ADN) de los microorganismos, por estas radiaciones. Los ácidos nucleicos son los puntos de ataque de la radiaciones UV.

A una longitud de onda de 250 -260 nm la absorción suele ser máxima, siendo el poder germicida de la radiación UV, máximo a 264 -265 nm. Las lámparas UV

emiten el 90% de su radiación en 253,7 nm. La actuación de estas radiaciones sobre dos de las moléculas contiguas de timina o citosina (pirimidinas) de una misma cadena de ADN o RNA, formando moléculas dobles o dímeros, impide la duplicación del DNA y RNA de los microorganismos y por tanto su reproducción. Pueden ocurrir procesos de reactivación y reparación mediante fotoreactivación a través de alguna enzima fotoreactivadora que invierte la dimerización, partiendo otra vez el dímero que se obtuvo con la absorción de UV por los ácidos nucleicos, pero esta suele ocurrir en condiciones extremas de laboratorio, tales como altas temperaturas y radiaciones prolongadas superiores a 300 nm, que no sería el caso de la desinfección del agua(36).

Para minimizar el posible efecto de fotoreactivación, es conveniente reducir la exposición del agua inmediatamente desinfectada, a la luz del sol.

Existen una serie de factores que inciden en la eficacia de un sistema de UV, entre los que pueden citarse: los sólidos en suspensión que protegen a los microorganismos de las radiaciones, las sustancias orgánicas que absorben radiaciones UV, reduciendo la cantidad disponible. Otras sustancias, con cierta frecuencia presentes en el agua, como el hierro y el manganeso pueden producir manchas en la envoltura externa de cuarzo y otras como sales de calcio y magnesio que pueden causar incrustaciones, tanto sobre la propia lámpara de cuarzo como en la propia cámara de esterilizador.

La temperatura también afecta en el sentido de producir fluctuaciones en la radiación UV. La temperatura óptima de las lámparas de UV suele ser de 40°C (36).

9.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LAS RADIACIONES UV

La principal ventaja en la aplicación de estas radiaciones en la desinfección del agua es su bajo coste de inversión y operación, no emplear productos químicos y por tanto no generar subproductos ni origina sabores ni olores y a su vez es compatible con otros procesos complementarios de desinfección que aporten un residual más permanente. Es precisamente esta carencia de desinfección residual a lo largo de la red de abastecimiento, la posible desventaja de las radiaciones UV si se emplearan como desinfectante único.

Está muy extendida su aplicación a pequeños sistemas de abastecimiento y en la desinfección de agua para aplicaciones y usos concretos en hospitales, escuelas, industrias de bebidas, alimentos y usos farmacéuticos(36).

9.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LA TECNOLOGÍA UV

Para conseguir radiaciones UV-C, a través de energía eléctrica, se utiliza una lámpara de baja presión de vapor de mercurio, por la que se hace pasar la corriente eléctrica. La radiación ultravioleta es el resultado del flujo de electrones, del vapor de mercurio ionizado, entre los electrodos de la lámpara. Ocurre como

en una clásica lámpara fluorescente, con la diferencia de que en las lámparas fluorescentes el bulbo está recubierto con una capa de fósforo que convierte la radiación UV en luz visible.

Para lograr una operación estable en una lámpara de arco de mercurio se requieren una especie de transformadores o balastos, estos pueden ser electromagnéticos, formados por un inductor en serie con la lámpara y un componente capacitivo corrector de potencia en paralelo y balastos electrónicos formados por un rectificador y un inversor de corriente. Los balastos electrónicos trabajan a frecuencias más altas que los electromagnéticos, con lo cual las lámparas trabajan a más baja temperatura, consumen menos energía y aumenta el periodo de vida de la lámpara(36).

Los microorganismos acuáticos encuentran condiciones ideales de la propagación por encima de los 20°C. La luz ultravioleta con una longitud de onda definida de $\lambda = 254 \text{ nm}$ destruye la sustancia hereditaria. Una intensidad de la radiación por lo menos de 400 J/cum, mata confiablemente todos los microorganismos. Los sensores ultrasensibles calibrados para la radiación UV supervisan el efecto de la desinfección. El compartimiento de la radiación instalado en el sensor mide continuamente la intensidad de la radiación. Los resultados medidos se transmiten a la electrónica de control para controlar el sistema entero por medio de módem(20).

10. DESINFECCIÓN MEDIANTE IONIZACIÓN

Es un dispositivo que neutraliza en el agua corriente, por medio de iones de cobre y plata, la presencia de la bacteria Legionella en sistemas de agua potable (fría y agua caliente sanitaria), depósitos y torres de enfriamiento industrial. Este dispositivo es de manejo y control sencillo, está compuesto por una unidad electrónica de emisión y recepción en multibanda, intercambiador de polaridad automático, regulador y células con electrodos de plata y cobre que liberan iones metálicos en el agua corriente.

Estos iones aportados al agua en cantidades ínfimas tienen la capacidad de destruir los microorganismos. Persisten en el agua y permanecen activos durante meses difundándose a ramales ciegos y de escaso uso. Más aún, destruyen el biofilm adherido a las paredes internas de las tuberías evitando escondrijos y zonas opacas al tratamiento.

Los protozoos cloro-resistentes, algunos de los cuales son utilizados por la Legionella para resistir las cloraciones, son también destruidos. Los aerosoles que se pueden formar con el agua tratada tales como: torres de refrigeración, duchas, humidificadores, contienen iones activos y no son contagiosos(40).

10.1 CAPACIDAD DE DESINFECCIÓN

En la capacidad de desinfección del sistema, no influye la temperatura. Los iones metálicos carecen de volatilidad, son estables y de larga duración. Es también un sistema ecológico, amigo del medio ambiente, al reducir los vertidos de cloro, y otros productos químicos, así como el malgasto energético.

El agua tratada con el ionizador antilegionella es absolutamente potable y cumple con las especificaciones de la OMS y las normas de la CEE. Ha sido instalado principalmente en todo tipo de industrias, en hospitales y hoteles de todo el mundo y la experiencia ha demostrado que es un sistema simple, eficaz y económico. En la capacidad de desinfección de este sistema no influye la temperatura y la incidencia del ph es menor, no obstante lo ideal para la duración de los electrodos y la menor agresividad de los componentes que habitualmente lleva el agua, es conveniente que los circuitos trabajen con el agua equilibrada(40).

Con este sistema se evitan los siguientes tratamientos en el control de la legionella(40):

- En las torres de enfriamiento: Tratamiento en continuo con biocidas y cloro. Protectores químicos contra la corrosión para evitar el deterioro producido por los productos químicos. Hipercloración periódica.
- En los sistemas de agua fría: Hipercloración periódica de depósitos y/o acumuladores. Provocar flujos en continuo de paso de agua por todos los

ramales periódicamente. Operación de movimiento del agua de las zonas “ciegas”, en finales de ramales, puntos de escaso uso, etc.,

- En el agua caliente sanitaria: Tratamiento periódico por \square AG térmico. Desinfecciones periódicas de cabezales de duchas, griferías, válvulas y desagües. Pruebas de estratificación en bombas e intercambiadores. Movimiento de flujos en las zonas “ciegas”. Cierre de áreas cuando se efectúan los tratamientos o shock térmicos.

10.2 UTILIZACIÓN

Este dispositivo es indicado para su utilización en todo tipo de industrias, redes sanitarias, hidrosanitarias de agua potable de los edificios y en los sistemas de enfriamiento del aire, tanto en el mercado nacional como internacional, en el sector industrial, comercial y doméstico(40).

11. DESINFECCIÓN CON PERMANGANATO DE POTASIO

El permanganato de potasio es un poderoso agente oxidante y se ha descubierto que es efectivo contra el vibrión del Cólera, pero no contra otros patógenos, lo que lo hace un desinfectante deficiente para el agua. Por estas características y su escaso conocimiento se recomienda muy poco su empleo(33).

El permanganato potásico, conocido como oxidante desde hace muchos años, se aplica cada vez más al tratamiento del agua, aprovechando este poder oxidante y sus propiedades biocidas y algísticas. En 1.846, ya se empleaba a nivel de laboratorio para la preparación de agua ultrapura por destilación. Como desinfectante, se empleó en la epidemia de cólera de Londres a finales de los años 1.880. Fue también en Londres, donde se utilizó a gran escala en el tratamiento del agua en 1.913(37).

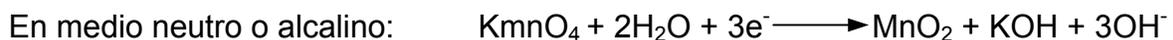
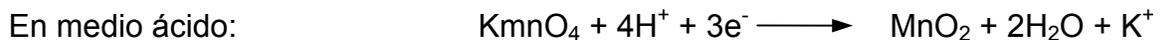
Las aplicaciones del permanganato en el tratamiento del agua se centran en(37):

- Eliminación del hierro y manganeso fundamentalmente, pero también puede eliminar sulfhídrico, fenoles y otros compuestos orgánicos
- Eliminación de olores y sabores.

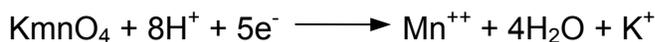
- Como algicida se emplea, tanto en las estaciones de tratamiento como en los lagos y embalses, en la prevención del desarrollo de algas
- No produce trihalometanos, e incluso reduce los precursores de éstos
- Contribuye a la coagulación, ya que el producto resultante en la reacción de oxidación del permanganato, el dióxido de manganeso como sustancia insoluble, forma coágulos que favorecen la coprecipitación de materias en suspensión y coloides en el agua. También se comportan estos coágulos o flóculos como adsorbentes en el interior de los filtros de arena.

En aguas con alto contenido en materia orgánica, se ha comprobado la mejora en la coagulación y por tanto en la eliminación, tanto de turbidez, como de DQO, cuando se utiliza permanganato en preoxidación.

Las dos reacciones de oxidación-reducción principales del permanganato en el tratamiento del agua son(37):



En el laboratorio, para la determinación de la oxidabilidad en medio ácido (pH<3,5) y caliente, la reducción del permanganato pasa a ión manganeso:



En las reacciones de oxidación del manganeso, 1 parte de manganeso Mn^{++} , requiere 1,92 partes de $KmnO_4$ y en la oxidación del hierro, 1 parte de hierro Fe^{++} , requiere 0,94 partes de $KmnO_4$.

En la práctica, las cantidades requeridas de permanganato, son algo menores, debido a la adsorción y el efecto catalizador del dióxido de manganeso formado, y mayores si hay materia orgánica en el agua.

El manganeso es soluble en el agua tratada, depende en gran medida del pH. Se han realizado muchos ensayos a este respecto, encontrándose en general, que a pH neutro o ligeramente ácido, el manganeso soluble en el agua filtrada era bajo ($< 40\mu g/l$). A pH menores, el manganeso soluble aumenta proporcionalmente a la dosis de permanganato(37).

La dosificación del producto suele hacerse generalmente preparando previamente una solución. El permanganato es bastante soluble en agua, su solubilidad está muy influenciada por la temperatura. Se suele preparar en concentraciones entre 5 y 50 gr/l.

Su manejo, preparación de soluciones y dosificación es fácil. Comercialmente se expende en forma sólida, en cristales pequeños o en polvo, en recipientes estancos. Su pureza es generalmente del 98,5 al 99%. Se puede almacenar a la temperatura ambiente en lugares secos, es estable hasta los $240^{\circ} C$. Se debe

evitar su contacto con ácidos, metales pulverulentos, materias orgánicas, peróxidos y materias combustibles.

Las soluciones de permanganato a pH neutro o alcalino e incluso ácido, no atacan el acero, mientras que no es recomendable para su almacenamiento o vehiculación, el bronce, el latón y aluminio. Los materiales más apropiados para su contención son en general las materias sintéticas plásticas, como PVC, teflón, polietileno. No son recomendables el caucho natural, nylon y polímeros de estireno-butadieno. El producto se puede dosificar también en seco, mediante los dosificadores convencionales de materiales pulverulentos(37).

18.1. □ OXIDACIÓN Y ELIMINACIÓN DEL HIERRO Y MANGANESO DISUELTOS

Considerando que el hierro y el manganeso disueltos estén en forma de una sal soluble, como pueden ser los bicarbonatos, las reacciones para la oxidación y eliminación del hierro y manganeso serían:



Las reacciones suelen tener lugar en menos de 5 minutos a pH entre 5 y 9, y están influenciadas claramente tanto por el pH como por la temperatura y por la presencia de materias orgánicas. En el sentido de aumentar en este caso el tiempo de reacción, necesita igualmente mayor cantidad de oxidante(37).

12. USO DE LA PLATA COMO DESINFECTANTE

El empleo de la plata como desinfectante es muy antiguo. La plata metálica es un buen bactericida que se puede obtener mediante el procedimiento denominado electrocátesis de acción oligodinámica de metales. Las materias orgánicas en suspensión interfieren el proceso por lo que deben ser eliminadas previamente. Los iones de plata no son efectivos contra los virus ni los quistes.

Su aplicación para desinfectar grandes volúmenes de agua es muy costosa, pues en general la plata es un elemento caro. En este proceso existe una acción residual del producto, pero es muy difícil de precisar su cuantía ni duración(33).

13. DESINFECCIÓN CON YODO

El yodo es eficaz contra las bacterias, virus, quistes de amebas y otros microorganismos transmitidos por el agua. Sin embargo, su disponibilidad y su uso han sido bastante limitados.

Su principal desventaja es su alto costo (10 veces más alto que el del cloro) y se requieren dosis de 10 a 15 mg/l para alcanzar una desinfección satisfactoria. La elevada volatilidad del yodo en soluciones acuosas es también un factor en su contra. Además, su empleo a largo plazo podría ocasionar ciertas reacciones en algunas personas sensibles a este producto(33).

14. TABLETAS DESINFECTANTES

Existen varios desinfectantes comerciales que son eficaces contra la mayoría de los microorganismos patógenos presentes en el agua. La mayor parte de ellos son compuestos del cloro y del yodo y se comercializan en forma de tabletas o de solución. Se utilizan fundamentalmente en caso de emergencia, suelen ser ligeros, están cómodamente envasados, de fácil administración y pueden conservarse durante mucho tiempo. El costo es generalmente alto(33).

- a) **Tabletas de Globaline:** Estas tabletas son también conocidas como Agua potable. El principio activo es un compuesto del yodo conocido como hidroperyoduro tetraglicina. Pierden el 20% de su potencia a las 24 semanas de abierto el frasco. El costo por tableta oscila entre 0.05 a 0.10 dólares.

- b) **Tabletas de Halozone:** Es un compuesto de cloro que produce aproximadamente 52% de cloro después de disuelto en el agua. El ingrediente activo es el diclorosulfamoyl ácido benzoico. Las tabletas disminuyen su potencia rápidamente después de abierto el frasco, perdiendo el 75% de su actividad cuando están expuestas al aire por dos días. El costo por tableta es de 0.02 dólares.

- c) **Tabletas Acuatabs:** Son pastillas efervescentes que al disolverse en el agua producen una dosis determinada de cloro disponible, haciéndolas un método preciso, conveniente y económico de desinfección local (viviendas, escuelas, hospitales, etc). El ingrediente activo es el dicloroisocianurato de sodio. Aproximadamente el 42% de este reactivo está disponible como cloro. Este compuesto es muy estable por lo que puede almacenarse por tiempos prolongados. El costo por tableta oscila entre 0.0065 a 0.016 dólares.
- d) **Tabletas de Chlor-floc:** Contienen agente floculante. El ingrediente activo es el dicloroisocianurato de sodio. El costo por tabletas es de 0.05 a 0.10 dólares.

15. DESINFECCIÓN DEL AGUA MEDIANTE LA ENERGÍA SOLAR

En 1991 EAWAG/SANDEC inició un proyecto importante de investigaciones en el laboratorio y sobre el terreno para valorar el potencial de SODIS y desarrollar un método de tratamiento de agua eficaz, sostenible y económico. En los últimos cinco años, EAWAG realizó amplias investigaciones en el laboratorio y sobre el terreno para desarrollar y comprobar el proceso SODIS. Ahora SODIS está listo para su aplicación práctica. La aceptación sociocultural y la accesibilidad financiera de SODIS fueron examinadas en proyectos piloto en siete países(24).

Los proyectos SODIS de EAWAG fueron principalmente cofinanciados por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Con la colaboración de algunas instituciones y su valioso apoyo en el desarrollo de este proceso: CINARA en Cali Colombia, Programa de aguas en Cochabamba Bolivia, NATURAMA en Ouagadougou Burkina Faso, CREPA Togo en Lomé Togo, Yayasan Dian Desa en Yogyakarta Indonesia, Environmental Concern en Khon Kaen Tailandia, Ningxia Sanitation and Antiepidemic Station en Yinchuan China.

EAWAG: Instituto Federal Suizo en Ciencias del Ambiente y Tecnología esta asociado con el Politécnico Federal Suizo (ETH). EAWAG es un centro

multidisciplinario experto en las ciencias ambientales que estudia el medio ambiente y su relación con las actividades humanas.

SANDEC: Las actividades del departamento de EAWAG Agua y Saneamiento para países en Desarrollo (SANDEC) se concentran en problemas de un desarrollo sostenible en países menos desarrollados económicamente. Su mandato consiste no sólo en prestar su apoyo para la elaboración de conceptos de agua y de saneamiento adecuados y sostenibles, sino también para tecnologías adaptadas a las condiciones físicas y socioeconómicas vigentes en los países en desarrollo.

15.1 QUÉ ES SODIS

- Es un método de tratamiento para eliminar los patógenos causantes de enfermedades hídricas
- Es ideal para desinfectar pequeñas cantidades de agua para el consumo doméstico
- Es un proceso de tratamiento de agua dependiente únicamente de la energía solar
- Es una opción alternativa de tratamiento de agua principalmente para el uso doméstico
- Es un método antiguo de purificación de agua apenas aplicado hoy día

En numerosos países en desarrollo, la situación del agua potable es precaria. Más de un tercio de la población rural no tiene acceso ni a agua suficiente ni a agua limpia. Enfermedades diarreicas pueden ser transmitidas a través de agua potable contaminada y causar la muerte de más de tres millones de personas al año. La desinfección del agua mediante la energía solar (SODIS) puede contribuir a mejorar esta precaria situación(24).

15.2 COMO FUNCIONA

Se trata de una tecnología simple que utiliza la energía solar para inactivar y destruir microorganismos patógenos presentes en el agua. Básicamente consiste en llenar botellas transparentes con agua y exponerlas a la plena luz solar durante cinco horas aproximadamente. En la figura 12 podemos observar una relación entre dosis U.V, temperatura y coliformes fecales, hallada en el estudio que se hizo(24).

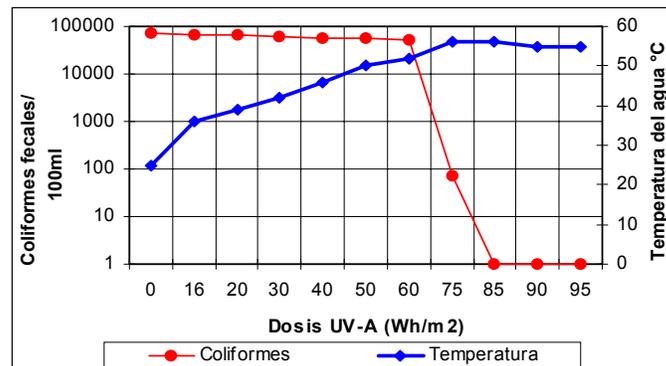


Figura 12. Comportamiento de coliformes ante radiación UV y temperatura

Hasta hoy se han desarrollado independientemente dos procesos que recurren a la energía solar para el tratamiento del agua. El primero se basa en la desinfección del agua mediante la energía solar por radiación y el segundo en el procesamiento térmico del agua a través de la energía solar. Extensas pruebas de laboratorio y sobre el terreno, realizadas por EAWAG y sus socios, revelaron que sinergias provocadas por la aplicación combinada del tratamiento térmico y de radiación tienen un efecto significativo en la inactivación de los microorganismos. Por lo tanto, el mejor uso de la energía solar es la aplicación combinada de ambos procesos de tratamiento de agua. Investigaciones sobre el terreno revelaron además que *Vibrio cholerae* son inactivados eficazmente mediante la desinfección del agua por energía solar(24).

15.3 LIMITACIONES DEL SODIS

- no altera la calidad química del agua
- no incrementa ni reduce la cantidad del agua
- no se presta para grandes volúmenes de agua
- requiere agua relativamente limpia (turbiedad menos de 30 UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad)
- necesita radiación solar (tiempo de exposición: cinco horas con cielo despejado o hasta 50 % con cielo cubierto/nuboso, o dos días consecutivos con cielo nuboso 100 %)

16. DESINFECCIÓN Y TÉCNICA USANDO UNA MEZCLA DE GASES OXIDANTES GENERADOS IN SITU (MOGGO)

Con el propósito de ayudar a solucionar el problema del agua potable, la OPS ha investigado un gran número de alternativas tecnológicas aplicables a la desinfección. Estas incluyen diversas tecnologías apropiadas para la hipocloración, ozonización, yoduración, radiación ultravioleta, así como el empleo de diversos métodos para realizar la cloración por gases, cloraminas, resinas halogenadas, dióxido de cloro y algunos métodos para la generación de desinfectantes in situ(3).

Dentro de esta política, OPS y CEPIS patrocinaron durante dos años una investigación conjunta sobre "Desinfección del agua en abastecimientos rurales, en la que participaron instituciones de Argentina, Colombia, Costa Rica, Chile y Perú, presentándose los resultados en un seminario que se realizó en el CEPIS en julio de 1983.

La OPS y CEPIS continúan prestando atención a los avances que se logran en la utilización y desarrollo de cada método de desinfección, habiendo observado que hasta el momento los gases oxidantes generados in situ (MOGGO) parecen ser la más promisoría de todas las tecnologías empleadas. Esto se debe principalmente a que se utiliza la tecnología para simplificar antes que para complicar los requerimientos operacionales, de mantenimiento y apoyo(3).

Durante tres años y medio esta tecnología se experimentó operacionalmente en los sistemas de abastecimiento de agua de 10 pequeñas comunidades, con diversos propósitos tales como desinfección, oxidación de materias orgánicas e inorgánicas y desinfección suplementaria en tramos de una red de distribución en la cual, anteriormente no se pudo mantener el cloro residual. La desinfección MOGGO ha tenido tanto éxito en estas instalaciones que su período de operación con estos propósitos será ampliado, para comprobar si continúa funcionando mejor que los métodos convencionales.

16.1 MOGGO: MEZCLA DE GASES OXIDANTES GENERADOS IN SITU

Existe un número de razones que explican el interés de la OPS en el concepto MOGGO:

- potencialmente puede ser inmune a la mayoría de obstáculos que actualmente enfrenta la cloración convencional en Latinoamérica
- Utiliza la tecnología para simplificar, antes que para complicar los requerimientos operacionales de mantenimiento apoyo
- En teoría, sus necesidades de energía son muy bajas (lo cual ha sido confirmado en la práctica)

- Las sustancias químicas que se utilizan para iniciar el proceso: cloruro de sodio y agua, son no solo seguras si no que se pueden conseguir fácilmente en casi toda comunidad de Latinoamérica.
- Produce prototipos de la unidad MOGGO ha funcionado bajo condiciones operacionales de campo reales, con mínima atención del operador, pese a la cual no han surgido problemas en más de tres años.

16.2 EFECTIVIDAD DE LA DESINFECCIÓN

Según algunas pruebas realizadas por la OPS y varios laboratorios privados parece ser que la eficacia germicida de la mezcla de gases oxidantes producida en las diversas unidades MOGGO, al ser disuelta en agua es comparable a la eficacia del gas cloro, según una relación de peso a peso base.

El ozono y los radicales libres del oxígeno, componentes de la mezcla desinfectante de gases matan o desactivan virus y bacterias a través de un mecanismo diferente al de la cloración. Por lo general el ozono y los radicales libres del oxígeno atacan la pared celular y obliga a la lisis del organismo, mientras que las especies del cloro reaccionan con las enzimas del organismo. Así mismo, el ozono y los radicales libres del oxígeno generalmente reaccionan con mayor rapidez que el cloro. Es probable que juntos actúen sinérgicamente. Pruebas recientes realizadas por Brodard, Dussert, Mallviable en el "Laboratoire Central Lyonnaise des Eaux", le Pecq, Francia, demostraron que existe un incremento en

la tasa de oxidación de la materia orgánica con ozono por la adición de peróxido de hidrógeno, el cual aparece como un producto secundario al disolverse la mezcla de gases en el agua.

Existe una variación muy amplia en cuanto a la susceptibilidad entre géneros, especies y clases de microorganismos ante un mismo desinfectante. Así mismo, hay una amplia variación en la susceptibilidad en un único organismo ante desinfectantes distintos. En consecuencia, parecer ser posible que una mezcla de desinfectantes sea más efectiva que uno sólo, sobre una gama de condiciones más amplia.

16.3 DESCRIPCIÓN DE UNA UNIDAD DE DESINFECCIÓN MOGGO

El diseño básico de uno de los prototipos de las unidades MOGGO producidos por la ozone Technology, Corp, el cual fue utilizado en las pruebas reales de campo antes mencionadas. Consta básicamente, de una celda electrolítica que produce los gases oxidantes (cloro y oxígeno) en el compartimiento del ánodo y, en el compartimiento del cátodo: hidróxido de sodio y gas hidrógeno. Estos dos compartimientos están separados por una membrana semipermeable. El cuerpo del prototipo fue fabricado en acrílico, pero también sería adecuado utilizar otros materiales, siempre y cuando fueran resistentes al cloro y al ozono. El cátodo de la unidad MOGGO es de acero inoxidable y para el ánodo pueden emplearse diversos materiales, cada uno con sus ventajas y desventajas especificadas. Los diferentes materiales anódicos producen espectros gaseosos ligeramente distintos

entre sí, los cuales varían entre 20 y 30 % para el cloro y 70% y 80% para el oxígeno. El voltaje también altera ligeramente las proporciones de ambos.

MOGGO utiliza una solución saturada de cloruro de sodio y un gasto energético bajo (3 a 10 voltios) para llevar a cabo la electrólisis. Los elementos oxígeno/cloro son absorbidos fuera del compartimiento del ánodo por un tubo de polipropileno conectado a un venturi. El gas hidrógeno proveniente del cátodo es eliminado a la atmósfera. El hidróxido de sodio generado en el compartimiento del cátodo debe ser diluido a intervalos regulares, procurando mantenerlo bajo del 10% para que la electrólisis continúe siendo eficiente. El hidróxido de sodio se diluye y se le hace fluir añadiendo agua al compartimiento del cátodo. También es necesario añadir cristales de cloruro de sodio (o pellets) y agua a la cámara de sal en el compartimiento del ánodo una o dos veces a la semana. Visualmente se puede determinar cuando es necesario añadir agua o sal(3).

El venturi debe fabricarse con materiales consistentes a la oxidación, tales como el polipropileno, e instalarse directamente en el conducto que conduce el agua para ser desinfectada, pudiendo también ser instalado sobre un circuito de derivación en el mismo conducto.

No presenta partes móviles y todas son en extremos durables. La membrana semipermeable es probablemente el componente más frágil, pero si no se toca y se limpia con un chorro de agua regularmente, debería durar cinco años o más.

16.4 OBTENCIÓN DEL DESINFECTANTE RESIDUAL CORRECTO

La tasa de generación de gas es controlada por la electrólisis de una solución saturada de cloruro de sodio. La velocidad de la electrólisis se controla variando la corriente electrónica que fluye entre los electrodos. Esta a su vez se controla alterando el voltaje usando un reóstato, o sea que el desinfectante residual que se desea, se obtiene simplemente ajustando el dial del reóstato. No es necesario hacer ninguna mezcla o medición de sustancias químicas. El análisis químico se reduce a las pruebas del residual existente en el sistema de distribución: Compartimiento del ánodo, compartimiento del cátodo, orificio por el que se agrega agua/soda cáustica al compartimiento en que se encuentra el cátodo, ánodo, cátodo. Tapón de plástico del orificio por donde se agrega la sal, compartimiento visor del nivel de la sal, tubo de ingreso del Hidrógeno, línea de rebose de la soda, tubo para el ingreso del aire. Tubo de salida de la mezcla de gases, visor del nivel de la soda y membrana(3).

La mayoría de casos, el oxígeno satisface la demanda oxidante y el cloro provee al sistema de distribución el desinfectante residual deseado.

16.5 ASPECTOS SANITARIOS DEL AGUA DESINFECTADA

Puesto que los gases oxidantes producidos en la unidad MOGGO se componen aproximadamente en un 70% de oxígeno y en un 30% de cloro, se puede esperar obtener los mismos subproductos de desinfección que se obtiene cuando estos desinfectantes se utilizan por separado. Las pruebas realizadas hasta el momento indican que éste es el caso. Además, parece ser que el ozono y los radicales

libres del oxígeno reaccionan con mayor facilidad ante sustancias orgánicas que ante el cloro, dando como resultado un nivel significativamente menor de trihalometano que aquél que se obtendría usando sólo el cloro. De manera similar, el oxígeno puede reaccionar con mayor facilidad que el cloro ante los fenoles y las algas debido a su afinidad por la materia orgánica, reduciendo con ello los problemas de sabor y de olor, así como la formación de compuestos organoclorados no deseados. Desde el punto de vista de salud pública MOGGO debería resultar, por lo menos, tan beneficiosos y seguro como el cloro. Sin embargo la experiencia es aún limitada, por lo que se recomienda realizar pruebas de laboratorio adicionales así como, demostraciones de campo, las cuales deben comprender el monitoreo y análisis de la calidad tanto del agua cruda como del agua desinfectada en un período de cuatro años, para descubrir problemas o limitaciones en el uso y determinar con posibilidad de éxito la forma de introducir mejoras en el equipo, las instalaciones y operaciones, para así maximizar los beneficios sanitarios(3).

16.5 EN UN FUTURO

Aún cuando esta primera etapa continuará por algún tiempo más, en ella se ha alcanzado el suficiente progreso como para iniciar la segunda etapa, la cual implica demostraciones de campo y pruebas, así como análisis más detallado de las metodologías más prometedoras y equipos utilizados en la primera etapa.

Para lograr el desarrollo racional de cualquier nuevo invento tecnológico es esencial realizar y monitorear pruebas, en las que bajo las condiciones existentes actualmente, se pruebe su comportamiento de acuerdo al uso que se le pretende dar en el futuro. También es necesario que se efectúen pruebas adicionales de laboratorio para así poder responder a las múltiples interrogantes que con seguridad serán generadas por las pruebas de campo, así como por el desarrollo mismo de la tecnología.

Siendo así, la fase 2 tendría en forma simultánea un componente de laboratorio y un componente de campo. Si bien los datos disponibles, basados en la experiencia, indican hasta el momento que la desinfección MOGGO es por lo menos tan efectiva y segura como la desinfección con cloro, se ha programado llevar a cabo comparaciones adicionales bajo condiciones de laboratorio cuidadosamente controladas, para verificar su efectividad sobre las bacterias, virus y protozoarios. Es probable que investigaciones para determinar los mecanismos de desactivación, efectos sinérgicos, de temperatura y Ph, así como la dinámica de la desinfección MOGGO, sean el objeto de numerosos proyectos de investigación en universidades durante varios años, pero para aplicación práctica, esto está fuera del ámbito de la demostración(3).

17. DESINFECCIÓN DE EMERGENCIA:

En momentos de crisis, si se corta el suministro de agua en la casa debido a razones naturales u otros tipos de desastres, se podrá conseguir alguna cantidad limitada de agua vaciando el tanque de agua caliente o derritiendo cubitos de hielo. En la mayoría de los casos, el agua de pozo profundo es la fuente preferida de agua potable. Si el agua de pozo profundo no está disponible y tiene que usar agua de un río o lago, evite lugares que contengan materiales flotantes y agua de color oscuro u olor(8).

Cuando sea necesaria la desinfección de emergencia, examine la condición física del agua. Los desinfectantes son menos eficaces en el agua turbia. Filtre el agua turbia o con color con paños limpios o déjela reposar para que los sedimentos se depositen, luego, extraiga el agua limpia para desinfectarla. El agua que se prepara para la desinfección debe almacenarse solamente en envases limpios, cerrados muy bien y que no sean corrosivos.

Existen dos métodos generales para desinfectar de manera eficaz pequeñas cantidades de agua. Un método es la ebullición, este es el mejor método para eliminar las bacterias del agua y poder beberla. Otro método es el tratamiento químico, si se hace con cuidado, ciertos productos químicos pueden eliminar

organismos patógenos o dañinos de algunas aguas. El agua que se vaya a utilizar para beber, cocinar, preparar bebidas o cepillarse los dientes debe estar desinfectada correctamente(8).

17.1 MÉTODOS DE DESINFECCIÓN DE EMERGENCIA

17.1.1 Ebullición. Hirviendo vigorosamente el agua durante un minuto, mata cualquier microorganismo presente en el agua que pueda causar enfermedades. El poco sabor que tiene el agua hervida puede mejorarse cambiándola de un envase a otro varias veces (esto se conoce como aireación), dejándola reposar por varias horas o añadiéndole una pizca de sal por cada litro de agua hervida(8).

17.1.2 Tratamiento químico. Cuando no sea práctico el hervir el agua, se debe usar la desinfección química. Los dos productos químicos que se utilizan más comúnmente es el cloro y el yodo. El cloro y el yodo son algo eficaces para proteger contra la Giardia pero no para controlar el Cryptosporidium. Por consiguiente, utilice cloro o yodo solamente para desinfectar agua de pozo profundo (y no agua procedente de la superficie como ríos, lagos y manantiales), ya que ésta por lo general no contiene estos organismos causantes de enfermedades. El cloro es más eficaz generalmente que el yodo en el control de la Giardia, y ambos desinfectantes tienen mejor efecto en agua templada(8).

17.1.3 Métodos de cloro.

17.1.3.1 lejía (cloro líquido, blanqueador). La lejía normal que se utiliza en el hogar contiene un compuesto de cloro que desinfecta el agua. El procedimiento que se debe seguir se encuentra por lo general en la etiqueta. Cuando no se especifica el procedimiento a seguir, busque en la etiqueta el porcentaje de cloro que contiene y utilice la información de la tabla 15 como guía.

Tabla 15. Dosis de cloro para la desinfección de emergencia.

Contenido de Cloro	Gotas por Litro de Agua Limpia
1%	10
4-6%	2
7-10%	1

(Si no se conoce la concentración del contenido de cloro, añada diez gotas por litro de agua. Doble la cantidad de cloro para agua turbia o con color).

El agua tratada se deberá mezclar bien y dejarla reposar durante 30 minutos. El agua deberá tener un ligero olor a cloro, si no es así, repita la dosis y permita al agua reposar otros 15 minutos. Si el agua tratada tiene un fuerte sabor a cloro, deje el agua reposar expuesta al aire durante varias horas o cámbiela de un envase a otro repetidamente(8).

17.1.3.2 Hipoclorito de Calcio Granular. Añada y disuelva una cucharadita llena de hipoclorito de calcio granular de buena calidad (aproximadamente 7 gr ó 1/4 de onza) por cada 2 galones de agua (7 litros y medio). La mezcla producirá

una solución de cloro de aproximadamente 500 mg/l, ya que el hipoclorito de calcio tiene un contenido de cloro igual al 70 por ciento de su peso. Para desinfectar agua, añada la solución de cloro a razón de una parte de solución de cloro por cada 100 partes de agua a tratar. Esto es aproximadamente igual a añadir 1 litro (16 onzas) de cloro por cada 12.5 galones (47 litros) de agua a ser desinfectada. Para eliminar el olor a cloro, si éste no se desea, airee el agua como se ha descrito anteriormente(8).

17.1.3.3 Tabletas de Cloro Las tabletas de cloro con la dosis necesaria para desinfectar el agua potable se pueden conseguir ya preparadas para su venta. Estas tabletas se pueden comprar en farmacias y tiendas de artículos de deporte y se deben utilizar según se indique en sus instrucciones. Cuando no haya instrucciones disponibles, utilice una tableta por cada litro de agua que se quiera purificar(8).

17.1.4 métodos de yodo

17.1.4.1 Tintura de Yodo. El yodo común que se utiliza en el hogar por motivos medicinales se puede también utilizar para desinfectar el agua. Añada cinco gotas al 2 por ciento de tintura de yodo de farmacopea EE.UU. (U.S.P., por sus siglas en inglés) por cada litro de agua limpia. Para el agua turbia añada diez gotas y deje la solución reposar durante 30 minutos por lo menos(8).

17.1.4.2 Tabletas de Yodo. Las tabletas de yodo preparadas para la venta contienen la dosis necesaria para desinfectar el agua potable y se pueden adquirir en farmacias y tiendas de artículos de deporte. Se deben utilizar según se ha indicado. Cuando no haya instrucciones disponibles, utilice una tableta por cada litro de agua que se quiera purificar(8).

18. MANGATEX

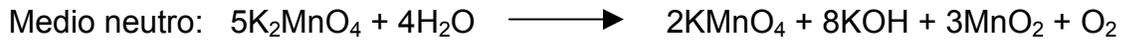
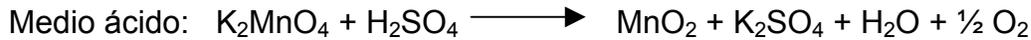
18.1 MANGANATO DE POTASIO, OXIDANTE Y DESINFECTANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS

18.1.1 Descripción del producto. Se presenta como un sólido de color negro con granulometría media a fina. Es una sal hexavalente del manganeso que contiene pequeñas cantidades de dióxido de manganeso (MnO_2) e hidróxido de potasio (KOH), residuales del proceso de fabricación.

Se disuelve fácilmente en agua a temperatura ambiente, dando inicialmente una solución con pH alcalino de 12, de color verde intenso que cuando alcanza su máximo estado de oxidación se torna violeta, dejando un sedimento de MnO_2 residual que es separado fácilmente por filtración para las aplicaciones que exigen mayor pureza del producto. La solubilidad o punto de saturación a 25°C es de 150g/L (45).

La solución al ser expuesta al oxígeno del aire se va tornando gradualmente azul, violeta y púrpura a rojo carmín, por la oxidación parcial del manganato a permanganato de potasio (KMnO_4), transición que no afecta el potencial y aplicaciones del producto, y por el contrario aumenta su poder oxidante, blanqueador y desinfectante, según sea el caso.

Su disociación o reacción en agua es diversa según sea el medio ácido, neutro o alcalino.



Teóricamente en medio alcalino el K_2MnO_4 no sufre ninguna transformación. En resumen, sus principales aplicaciones y características en tratamiento de agua son(45):

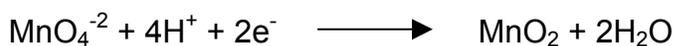
- ◆ Elimina del agua diversos contaminantes tales como Fe^{+2} , Mn^{+2} , S^{-2} , CN^- , etc.
- ◆ Es bactericida y algicida, elimina sabores y olores producidos por los componentes orgánicos.
- ◆ No comunica ningún sabor ni olor a las aguas tratadas.
- ◆ El MnO_2 formado en el tratamiento elimina las impurezas cationicas por adsorción.
- ◆ La manipulación es sumamente sencilla, sin peligro alguno.
- ◆ Es fácilmente detectable por su color
- ◆ Es económico.

18.1.2 Aplicación del producto en tratamiento de aguas. La mayoría de las sustancias mas indeseables presentes en un agua a potabilizar (contaminantes orgánicos de síntesis y/o naturales, algunos inorgánicos sulfuro, Fe, Mn, NH_3 ,

contenido microbiano) comparten la circunstancia de poder ser eliminados total o parcialmente mediante procesos promovidos por reactivos oxidantes y a la vez desinfectantes.

Tradicionalmente, el cloro ha sido el oxidante desinfectante mas aplicado en potabilización. Sin embargo, plantea algunos inconvenientes notables que fueron anteriormente mencionados. Esto hace que la técnica de potabilización discorra en el sentido de buscar y optimizar otros oxidantes industriales alternativos al cloro. Entre estos cabe citar al manganato de potasio, cuyo uso es relativamente reciente, aplicándose con éxito en la potabilización de aguas(45).

El manganato de potasio, sustancia bastante soluble en agua, no inflamable, sin ningún efecto toxicológico negativo y no cancerígeno, basa su efectividad (a pH entre 6 y 9) en su conocida reacción redox:



Produciendo dióxido de manganeso, un precipitado marrón bastante insoluble entre pH 2 y 11, biológicamente inerte, con alta capacidad de adsorción y muy fácil de separar por sedimentación y/o filtración. Además, el escaso contenido del producto en trazas de metales (<5ppm en Cr, <10ppm en Cd y Hg, y < 20ppm en As) lo justifican para su aplicación industrial por los bajos contenidos de trazas residuales que aportaría a un agua(45).

18.1.3 Oxidación de materia orgánica. Respecto a la efectividad del manganato para eliminar olor y sabor en un agua tratada, esta relacionada con su poder algicida. En este sentido, los olores y sabores de un agua tratada pueden tener dos fuentes: 1) un contenido importante de fitoplancton no eliminado con el tratamiento convencional de cloración, decantación, y filtración. 2) presencia de compuestos organoclorados generados por la ineficaz eliminación por parte del cloro de otras sustancias orgánicas originalmente presentes en el agua cruda a tratar.

En el primer caso, la acción del manganato es mas energética, con menores dosis y menores tiempos de contacto, que un algicida típico como el sulfato de cobre frente a la mayoría de algas de agua dulce. En algunas experiencias ya realizadas se comprobó la efectividad del producto frente al olor y sabor de aguas sometidas a cloración, así como una sustancial reducción del color del agua tratada.

Por otro lado, la acción del manganato en la eliminación de las diferentes materias orgánicas de un agua puede explicarse atendiendo a su poder oxidante. Así actuaría rompiendo parcialmente muchos compuestos orgánicos en unidades mas pequeñas (fenoles, cresoles, aminas y otros aromáticos refractarios a la acción del cloro) o incluso, oxidándolos totalmente y generando teóricamente un producto inerte como el CO_2 y el ya mencionado MnO_2 , que actuaría a su vez como adsorbente de compuestos variados, oxidados o no según la reacción:



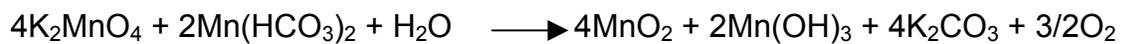
Donde CH_2O representa una molécula de materia orgánica. No obstante, este es solo un proceso teórico ya que la materia orgánica natural (ácidos húmicos y fúlvicos, sustancias precursoras potenciales de THMs y compuestos órgano clorados) esta formada por cientos y miles de átomos de carbono. De cualquier forma y según la estequiometría, se requieren 13mg de manganato de potasio para oxidar 1mg de materia orgánica (como CH_2O).

Puede concluirse hasta aquí que la aplicación practica del manganato en potabilización de aguas puede realizarse en disolución acuosa de concentración del 1 al 3%, adicionando previamente a la entrada del agua cruda en planta y antes de cualquier otro reactivo de tratamiento, operación que transcurre en un tiempo de reacción dado, después de lo cual podría observarse una leve coloración rosada en el agua. Se recomienda que dicha coloración no sobrepase la fase de decantación. Se podría operar finalmente, al pH original del agua a tratar o bien a pH ligeramente básico que algunas ocasiones favorecería el proceso oxidativo.

18.1.4 Eliminación de hierro, manganeso y sulfuro. El tratamiento con manganato se aplica para eliminar el hierro, manganeso y sulfuro de las aguas, aunque se puede mejorar su acción empleándolo junto con cloro. Se añade manganato en primer lugar, para que actúe sobre las sustancia susceptibles de

oxidación y a continuación cloro para completar el proceso de desinfección y garantizar un residual de este último en el agua tratada.

Las reacciones químicas que se producen son las siguientes:



Las reacciones se desarrollan rápidamente a pH 7 y tanto más intensamente cuanto mayor sea el pH. Cuando se emplea para eliminar el olor y el sabor (materia orgánica) de las aguas, el proceso es mucho más lento, pues las reacciones requieren algo más de tiempo y varían según las condiciones del medio. En líneas generales se puede afirmar que al aumentar el tiempo de contacto se aumenta la eficiencia del tratamiento(45).

El oxígeno formado se combina rápidamente con el agente reductor presente. La velocidad de reacción aumenta a medida que se incrementa el pH de 5 a 11.5.

18.1.5 Usos y formas de aplicación. Como pretratamiento para oxidar hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno se emplean de 1 a 3ppm, aplicadas a partir de una solución cuya concentración debe de ser del 1 al 5%.

Como agente bactericida, fungicida y algicida es aplicable en torres de enfriamiento, condensadores evaporativos, sistemas de enfriamiento, sistemas de lavado de gases, lagos ornamentales, acuarios, agua para consumo humano y en bebederos para animales. El manganato de potasio es un desinfectante superficial, agente para saneamiento ambiental y desodorizador. Las formulaciones incluyen preparaciones en forma líquida para prácticamente todas sus aplicaciones. Como desinfectante, el manganato de potasio se diluye de acuerdo a las instrucciones de la etiqueta para aplicar sobre superficies duras y no porosas, en soluciones cuya concentración varía de 1 a 10g/L de acuerdo a la complejidad de la contaminación(45).

18.1.6 Dosis estimadas de aplicación. Para torres de enfriamiento, lavadores de aire y condensadores evaporativos se aplica de 25 a 100ppm, para acuarios y lagunas ornamentales aplicar 5ppm para control de crecimiento de algas. Para agua para consumo humano aplicar de 0.5 a 5ppm de acuerdo al grado de contaminación y niveles de sustancias a remover. Para aguas residuales las dosis varían de 25 a 500ppm de acuerdo al grado de contaminación y nivel de remoción requerido(45).

19. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

19.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ALGUNOS DESINFECTANTES

Todos los productos empleados en el tratamiento del agua, como oxidantes/desinfectantes, presentan ventajas y desventajas en su empleo, que en la tabla 16 se presentan de forma resumida (22).

Tabla 16. ventajas y desventajas de los distintos productos empleados en la oxidación/desinfección

PRODUCTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CLORO	<ul style="list-style-type: none"> - Es el método más utilizado y conocido - Oxida fácilmente al hierro, sulfuros y algo más limitado al manganeso - Mejora generalmente la reducción del color, olor y sabor - Es muy efectivo como biocida - Proporciona un residual en el sistema de abastecimiento - Mejora los procesos de coagulación y filtración - Elimina el amonio, previa transformación en cloramina. 	<ul style="list-style-type: none"> - Forma subproductos halogenados, tanto con precursores procedentes del agua bruta como en la propia red. - En algunos casos puede provocar problemas de olor y sabor, dependiendo fundamentalmente de la calidad del agua - Requiere instalaciones para neutralizar las fugas de gas - El cloro gas es peligroso y corrosivo - En el caso de emplear uno de sus principales derivados como es el hipoclorito sódico, este se degrada en el tiempo y al estar sometido a la luz. - Es menos efectivo a pH alto
DIOXIDO DE CLORO	<ul style="list-style-type: none"> - Oxida con facilidad al hierro, manganeso y sulfuros - No genera subproductos halogenados (si está bien generado) - Es más efectivo que el cloro y las cloraminas para inactivación de virus, Criptosporidium y Giardia. - Mejora los procesos de coagulación y filtración - Elimina bien muchos de los olores y sabores procedentes de algas y compuestos fenólicos - Su efectividad está poco influenciada por el pH - Proporciona un residual en el sistema de abastecimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Forma subproductos como cloritos y cloratos - El gas es explosivo en una concentración del 10% en el aire - La generación no apropiada, como exceso de cloro, puede formar subproductos halogenados - No reacciona con el amoníaco, no eliminándolo por tanto del agua bruta. - Tiene que ser generado in situ
CLORAMINAS	<ul style="list-style-type: none"> - No forman (como hace el cloro) subproductos clorados - Son más estables como residual (especialmente la monoclорamina) y de mayor duración en el tiempo que el cloro y el dióxido de cloro 	<ul style="list-style-type: none"> - No oxidan al hierro, manganeso y sulfuros - Tienen menor poder de desinfección que el cloro, dióxido de cloro u ozono - El exceso de amoníaco puede

	<ul style="list-style-type: none"> - No reaccionan con la mayor parte de compuestos orgánicos que suelen causar olores y sabores - Protegen la red en abastecimientos extensos contra recrecimientos bacterianos - Son fáciles de preparar 	<ul style="list-style-type: none"> originar en la red problemas de nitrificación - Las monoclaramina es menos efectiva como desinfectante a pH alto - Tienen que ser, generalmente, generadas in situ. - Puede originar algunos subproductos como algún ácido dicloroacético y cloruro de cianogeno.
OZONO	<ul style="list-style-type: none"> - Oxida al hierro, manganeso y sulfuros - Es más efectivo que el dióxido de cloro y cloraminas en la inactivación de virus, Cryptosporidium y Giardia - Elimina y controla los problemas de olor, sabor y color - No forma subproductos halogenados, a no ser que haya presencia de bromuros - Requiere una concentración y tiempo de contacto menor para su labor de desinfección - Su efectividad no está influida por el pH 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede producir subproductos, como bromatos, aldehídos y ácidos. - Requiere gran cantidad de energía en su generación, así como equipos más costosos. - Es muy corrosivo y tóxico (puede formar óxido nítrico y ácido nítrico que causaran corrosiones en los equipos. - No proporciona residual en la red. - Desaparece con rapidez del agua, especialmente a altos pH y temperatura. - Tiene que ser generado in situ
PERMANGANATO POTASICO	<ul style="list-style-type: none"> - Oxida y elimina a materias orgánicas precursoras de subproductos - Oxida a sustancias que causan problemas de sabor y olor - Es fácil de aplicar en cuanto a las instalaciones requeridas - No forma los subproductos de los demás oxidantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede teñir el agua de un ligero color rosado si se dosifica en exceso - Requiere largo tiempo de contacto - Es tóxico e irritante de la piel - No es un gran desinfectante.

19.2 FACTORES QUE ORIGINAN CIERTOS FRACASOS EN EL PROCESO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE

Los agentes desinfectantes utilizados comúnmente suelen tener propiedades oxidantes. Esto los hace útiles para efectuar algunos de los mecanismos de desactivación de microorganismos, pero también impone propiedades que no siempre son deseables (por ejemplo, la capacidad de decolorar tintes y

colorantes). Algunos de ellos interactúan con la materia orgánica presente de tal modo que la cantidad requerida del desinfectante aumenta mucho en presencia de aquélla. La interacción puede ser también del tipo de adición o reacción, como en el caso de la formación de productos de desinfección (DBP) al usar cloro, los cuales pueden ser tóxicos(1).

Entre algunos de los factores mas conocidos tenemos los siguientes:

- Abastecimiento poco confiable de sustancias químicas.
- Repuestos no disponible para los equipos.
- Requisitos operacionales demasiado complejos para los operadores locales.
- Reparación de los equipos muy complicada para ser entendida por los operadores locales.
- Infraestructura inadecuada para apoyar la compra, transporte y almacenamiento de sustancias químicas, repuestos y suministro.
- Insatisfacción del usuario con la amplia variación de los niveles de cloro en el agua así como con el sabor y olor generados por la reacción del cloro con diversas sustancias en el agua.
- Dificultades para el almacenamiento, manipulación, mezcla y medición de los desinfectantes químicos.
- Poca duración del equipo.
- Insuficiente adiestramiento y experiencia de los operadores.

- Medidas de seguridad inadecuadas.
- Costos que la comunidad podría no estar en condiciones de asumir.

En la mayoría de ciudades grandes la cloración se efectúa en una base razonablemente confiable, no obstante en ciertas ocasiones, algunas de ellas han sido afectadas de manera adversa por la escasez de sustancias químicas y causas similares(3).

Como se vio anteriormente el ozono es una de las sustancias que mejores resultados ofrece en cuanto a la reducción-oxidación de sustancias químicas, y en la eliminación de microorganismos patógenos.

El ozono es un compuesto que no transfiere características de olor, color y sabor al agua; pero en cuanto al residual se tendría que ayudar al agua con otra sustancia, ya que el ozono no lo proporciona.

También los costos de operación de una planta con este sistema de tratamiento son un inconveniente, pero serían compensados por las grandes ventajas que este posee.

BIBLIOGRAFIA

1. Desinfección de aguas, http://www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES/ipn/avanpers/julio99/aporta/sec_7.html
2. Ozonización en aguas de piscinas, <http://www.atexport.com/pagesp/info/intropis.htm>
3. Desinfección usando una mezcla de gases oxidantes generados in situ MOGGO, Octubre de 2003, http://www.aguamarket.com/temas_interes/060.asp
4. Desinfección, <http://www.lenntech.com/espanol/desinfeccion.htm>
5. Ozono, <http://www.lenntech.com/espanol/ozono.htm>
6. Dióxido de cloro, <http://www.lenntech.com/espanol/dioxido-de-cloro.htm>
7. Tecnología del ozono, <http://www.lenntech.com/espanol/generador-de-ozono.htm>
8. Desinfección de emergencia del agua potable, Abril de 2000, <http://www.epa.gov/safewater/agua/desinfeccion.html>
9. El agua potable y la salud, lo que usted debe saber, Mayo de 2000, <http://www.epa.gov/safewater/agua/apsalud.html>
10. Cuales son los contaminantes que se pudiesen encontrar en el agua potable, <http://www.epa.gov/safewater/agua/contams.html>
11. De donde proviene el agua potable, <http://www.epa.gov/safewater/agua/dedonde.html>

12. Como se trata el agua potable, <http://www.epa.gov/safewater/agua/trata.html>
13. Que ocurre si tengo necesidades de salud especiales, <http://www.epa.gov/safewater/agua/especial.html>
14. Guía para individuos con el sistema inmunológico severamente debilitado, Abril de 2000, <http://www.epa.gov/safewater/agua/crypto.html>
15. Cuales son los efectos a la salud de los contaminantes en el agua potable, <http://www.epa.gov/safewater/agua/salud.html>
16. Quien es responsable por la calidad del agua potable, <http://www.epa.gov/safewater/agua/quien.html>
17. Que es una violación a un estándar de agua potable, <http://www.epa.gov/safewater/agua/violacion.html>
18. Estableciendo estándares para agua potable segura, Mayo de 2000, <http://www.epa.gov/safewater/agua/estableciendo.html>
19. Estándares del reglamento nacional primario del agua potable, Abril de 2000, <http://www.epa.gov/safewater/agua/estandares.html>
20. Desinfección por U.V de agua potable, <http://www.allwa.com/aquades.html>
21. Aviso a los clientes de OWASA, http://www.owasa.org/pages/spanish_disinfection.asp
22. Preoxidación desinfección, <http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/preoxidacion-desinfeccion.htm>
23. Cloraminas, <http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/cloraminas.htm>
24. Desinfección del agua mediante la energía solar, http://www.sodis.ch/files/leaflet_s.pdf
25. Disinfectants and disinfection by products,

- http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/S04.pdf
26. CASTRO, María. L, Aspectos químicos en la cloración de aguas residuales, Junio de 1987, <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt39/hdt39.html>
 27. C.M, Villanueva, Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga, Noviembre de 2000, <http://www.imim.es/urra/pdf/villanueva%20gaceta%202001.pdf>
 28. Oxidación mediante peróxido de hidrogeno, Octubre de 2003, <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=1342>
 29. Peróxido de hidrogeno, <http://www.lenntech.com/espanol/peroxido-de-hidrogeno.htm>
 30. BARREIRO. Eduardo, Eliminación de microorganismos, desinfección, <http://www.fing.edu.uy/~danielg/repart/desinfec.doc>
 31. Nuevas tecnologías para la purificación de aguas, <http://www.miliarium.com/PremiosMiliarium/2003/TratamientoAguas/TratamientoAguas.pdf>
 32. Agentes perturbadores de origen sanitario, <http://www.edomexico.gob.mx/ssg/dgpc/Sistema%20Estatl%20de%20Riesgos/Atlas%20Estatl/Sanitarios/Fensanitarios.htm>
 33. Alternativas de desinfección del agua, Abril de 1997, <http://www.infomed.sld.cu/instituciones/uats/uats/RTV/rtv0597.htm>
 34. Cloración, <http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/cloracion.htm>
 35. Dióxido de cloro, http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/dioxido_de_cloro.htm
 36. Radiación Ultra Violeta, http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/radiacion_ultravioleta.htm

37. Permanganato potasico, http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/permanganato_potasico.htm
38. Ozonización, <http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/ozonizacion.htm>
39. Subproductos de la desinfección, http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/subproductos_de_la_desinfeccion.htm
40. Ionizador para la industria, <http://www.iaf.es/enciclopedia/alcora/ionizad.htm>
41. ARBOLEDA. V. Jorge, Manual de desinfección del agua, Acodal, 1976
42. CHARLES. R. Cox, Practica y vigilancia de las operaciones de tratamiento de agua, Editorial científico técnica, Cuba.
43. RODRIGUEZ. Carlos, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua, Oficina de publicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Santafé de Bogotá, D.C. 1995.
44. ENCICLOPEDIA UNIVERSAL DANAE, Volumen II, Ediciones Danae S.A, Barcelona España.1977
45. DERIMINSA, Tratamiento de aguas, Mangatex, Antioquia, Colombia.
46. BERSH. D, OSORIO. M, Estudios de diarrea en el Quindío, Colombia 1978-1982.