

GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMA DE DESINFECCIÓN



Lima, 2007

Guía para la selección de sistema de desinfección

	Página
Introducción.....	4
1 Objeto	5
2 Aplicación	5
3 Definiciones.....	5
4 Desinfección y métodos	5
4.1 Eficiencia de la desinfección	5
4.2 Métodos de desinfección disponibles	6
4.3 Métodos de desinfección aplicables	6
5 Importancia de la desinfección	7
5.1 Microorganismos	7
5.2 Enfermedades transmitidas por el agua.....	8
6 Riesgos de los subproductos de la desinfección.....	8
7 Características deseables de un desinfectante	9
8 La cloración como método redesinfección.....	9
9 Consideraciones para la desinfección por cloración.....	10
9.1 Productos disponibles	10
9.2 Selección de productos	10
9.3 Propiedades de los productos del cloro	11
9.4 Mecanismos de la desinfección con cloro	12
10 Selección de sistemas de desinfección	13
10.1 Consideraciones generales.....	13
10.1.1 En general	13
10.1.2 Normativo.....	14
10.1.3 Económico.....	14
10.1.4 Técnico	14
10.1.5 Social	16
10.2 Consideraciones específicas	16
10.2.1 Característica del desinfectante	17
10.2.2 Efecto residual	17
10.2.3 Características del agua a desinfectar.....	17
10.2.4 Infraestructura existente	17
10.2.5 Aptitudes técnicas.....	18

10.2.6	Formación de subproductos.....	18
10.2.7	Costos	18
11	Sistemas de desinfección	18
11.1	Bajo presión atmosférica	19
11.1.1	Tanque con válvula flotador	20
11.1.2	Tubo con orificio en flotador.....	20
11.1.3	Sistema vaso/botella	20
11.2	Bajo presión positiva o negativa.....	21
11.2.1	Bomba diafragma (positiva)	21
11.2.2	Dosificador por succión (negativa)	21
11.3	Generador de hipoclorito de sodio in situ	22
11.3.1	Producción por celdas con fuente eléctrica	22
11.3.2	Dosificador de carga constante o por goteo	23
11.4	Erosión.....	23
11.4.1	De tabletas y píldoras de hipoclorito de calcio.....	23
11.5	Difusión (Flujo difusión).....	24
12	Desinfección en situaciones de Emergencia.....	25
13	Bibliografía	27
Anexos	29
a.1	Tabla comparativa de ventajas y desventajas de los distintos métodos que utilizan cloro y derivado	
a.2	Costos relativos de los distintos sistemas de cloración.	
a.3	Sistemas de desinfección y puntos de aplicación.	
a.4	Aplicabilidad del cloro.	
a.5	Atributos de distintos equipos y dosificadores	

Introducción

La desinfección de los abastecimientos comunitarios de agua es una medida esencial de salud pública que data de principios de siglo XX, y su importancia se ha demostrado tanto en la teoría como en la práctica. El tratamiento adecuado y la desinfección fiable de agua permitieron reducir considerablemente la incidencia de la tifoidea y el cólera en muchos países, antes de que se descubrieran los antibióticos y las vacunas. En todos los lugares donde se ha realizado adecuadamente la desinfección del agua, se han obtenido beneficios en la salud de los usuarios.

La desinfección es importante, pero es crítica en las comunidades pequeñas y zonas rurales, donde puede ser la única forma de tratamiento asequible.

Actualmente, el objetivo de la desinfección del agua es asegurar que el consumidor reciba agua esencialmente saludable mediante la destrucción de los agentes patógenos y, además, que mantenga una barrera protectora contra los gérmenes dañinos a la salud humana que se podrían introducir en el sistema de abastecimiento agua, suprimiendo de esta manera la posterior contaminación microbiológica del agua.

El objetivo de esta guía es proporcionar información y conceptos actualizados, y las herramientas necesarias para la selección adecuada del sistema de desinfección del agua en sistemas rurales de abastecimiento.

Para tal efecto, la guía incluye, información sobre los aspectos generales relacionados a la desinfección, características del desinfectante, métodos de desinfección entre las cuales se destaca la cloración como desinfección, tipos de sistemas aplicables al ámbito rural y finalmente consideraciones para su selección.

Guía para la selección de sistema de desinfección

1 Objeto

Establecer criterios para la selección del sistema de desinfección del agua en sistemas de abastecimiento de agua rural.

2 Aplicación

La aplicación de la presente guía será en sistemas rurales y pequeñas localidades.

3 Definiciones

- **Cloro.-** Elemento normalmente encontrado como un gas amarillento verdoso aproximadamente 2.5 veces más pesado que el aire.
- **Cloro residual.-** Cantidad de cloro presente en el agua luego de un período específico de tiempo¹.
- **Demanda de cloro.-** Cantidad de cloro que se consumiría en un periodo determinado de tiempo por la reacción con sustancia fácilmente oxidables presentes en el agua, si el abastecimiento de cloro fuera limitado; la demanda varía con el tiempo de contacto, temperatura y con la calidad del agua.
- **Desinfección.-** Proceso que consiste en eliminar los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua, mediante el uso de equipos o sustancias químicas.
- **Desinfectante.-** Elemento químico que se utiliza para destruir o inactivar, dentro de un tiempo dado, las clases y números de microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua que se va a tratar.
- **Dosificador.-** Dispositivo que descarga un producto químico a una frecuencia predeterminada en el tratamiento del agua. La dosis se puede modificar manualmente o bien automáticamente por cambios en el caudal.
- **Parte por millón (ppm).-** Se refiere a la cantidad de desinfectante en miligramos por cada litro de agua (mg/ lt).

4 Desinfección y métodos

La desinfección es el último proceso y uno de los más importantes en el tratamiento del agua destinada al consumo humano. Es la única forma de garantizar la eliminación de microorganismos patógenos en el agua que puedan dañar la salud de las personas.

4.1 Eficiencia de la desinfección

La eficiencia de este proceso dependerá de factores que se deberán tener en cuenta, como son:

- La naturaleza y número de los organismos a ser destruidos

¹ OMS 2004, *Guía para la calidad del agua potable*. Para que la desinfección sea eficaz, debe haber una concentración residual de cloro libre $\geq 0,5$ mg/litro tras un tiempo de contacto de al menos 30 minutos a pH $< 8,0$

- El tipo y concentración del desinfectante usado.
- La temperatura del agua a ser desinfectada. Cuanta más alta sea la temperatura, más rápido es el proceso.
- El tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua. Mientras mayor sea este periodo, los resultados son mejores. La totalidad de muertes de microorganismos es proporcional al tiempo de contacto.
- La calidad del agua a ser desinfectada. Si el agua contiene partículas, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, la eficiencia de la desinfección es menor. Es recomendable que la turbiedad del agua sea menor a 5 UNT.
- El pH del agua.
- Las condiciones de la mezcla. Se obtiene buenos resultados cuando la mezcla del agua y el desinfectante es homogénea.

4.2 Métodos de desinfección disponibles

Los desinfectantes y el equipo de desinfección se deben seleccionar de modo que satisfagan en lo posible las condiciones específicas de la aplicación a que se destinen teniendo en cuenta todos los factores que influyen en la fiabilidad, continuidad y eficacia de la desinfección. Los principales métodos se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Métodos de desinfección del agua disponibles

Físicos		Químicos		
Ultrafiltración		Cloro	Gas	
Ultrasonido			Hipoclorito	○ Sodio ○ Calcio
Ósmosis inversa			Dióxido de cloro Cloraminas	
Electroforético		Permanganato de potasio Yodo Bromo Ozono Peróxido de hidrógeno Plata		
Ebullición				
Congelación				
Radiación ionizante	○ Gamma ○ Ultravioleta			

4.3 Métodos de desinfección aplicables

Las características que deben tener los métodos de desinfección para ser aplicables en el ámbito rural son los siguientes:

- Rápido y efectivo
- Fácilmente soluble en agua en las concentraciones requeridas y capaz de proveer una acción residual.
- Que no afecte el sabor, olor o color del agua.
- Fácil de manipular, transportar, aplicar y controlar

Bajo estas características el cloro es uno de los métodos que más aplica en el área rural.

5 Importancia de la desinfección

La OMS en el reporte de salud ambiental de fin de siglo XX, ubica a las diarreas como la séptima causa de muerte en el mundo. Así también reporta que las diarreas es la primera causa de morbilidad en el ser humano. Las diarreas tienen como causas una deficiente nutrición, la inapropiada disposición de excretas, inadecuadas prácticas higiénicas, y una mala calidad del agua de bebida. La primera asociada al contexto de pobreza y el de la mala calidad del agua de consumo aparece como una responsabilidad de la ingeniería sanitaria y otras ciencias asociadas.

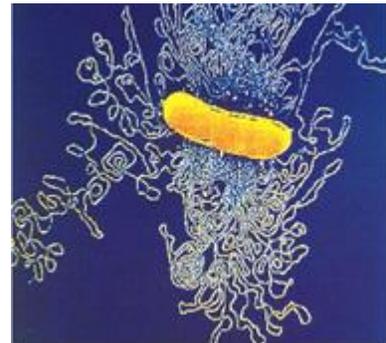


Fig. 1. Escherichia coli

Dentro de este marco, la desinfección del agua de bebida es clave para la solución del problema, en la visión moderna del tratamiento de agua se conoce como “buena práctica” y también dentro del análisis de riesgos y puntos críticos de control o ARPCC (HACCP en inglés)

La importancia de la desinfección radica en eliminar los microorganismos patógenos presentes en el agua. La desinfección es importante en todos los sistemas, pero es crítica en las comunidades pequeñas y zonas rurales, donde se debe buscar un tratamiento asequible.

Para proporcionar un abastecimiento continuo de agua segura para consumo humano, deben seguirse algunas normas simples que permitan garantizar su buena calidad microbiológica. Entre ellas, la OMS considera prioritarias las siguientes:

- Utilizar un recurso hídrico de la mejor calidad posible,
- Emplear todos los medios disponibles para proteger las captaciones,
- Garantizar en forma permanente la desinfección del agua.

La protección de la población frente a enfermedades de origen hídrico depende de la aplicación y del cumplimiento de dichas normas.

5.1 *Microorganismos*

En el contexto más amplio de la calidad del agua destinada al consumo humano, ésta no debe contener microorganismos nocivos y las concentraciones de sustancias químicas o de otro tipo deben estar bajo niveles que pueden presentar riesgos para la salud. Desde el punto de vista biológico, estos requisitos implican la eliminación o destrucción de bacterias entéricas, virus, quistes de protozoos y esporas de bacterias que pueden causar infección o enfermedad como resultado de beber agua contaminada

5.2 Enfermedades transmitidas por el agua

Los agentes causantes de las enfermedades de origen hídrico se muestran en el cuadro N° 2, y en el cuadro N° 3 los síntomas y reservorio.

Cuadro N° 2. Principales enfermedades de origen hídrico y agentes responsables

Enfermedades	Agentes
Origen bacteriano Fiebres tifoideas y paratifoideas Disentería bacilar Cólera Gastroenteritis agudas y diarreas	Salmonella typhi Salmonella paratyphi A y B Shigella sp. Vibrio cholerae Escherichia coli enterotoxinógena Campylobacter Yersinia enterocolitica Salmonella sp. Shigella
Origen vírico Hepatitis A y E Poliomeilitis Gastroenteritis agudas y diarreas	Virus hepatitis A y E Virus de la polio Virus de Norwak Rotavirus Enterovirus Adenovirus, etc.
Origen parasitario Disentería amebiana Gastroenteritis	Entamoeba histolytica Giardia lamblia Cryptosporidium

Cuadro 3. Síntomas y reservorio de las principales enfermedades transmitidas por el agua

Nombre	Agente	Síntomas principales	Reservorio
Salmonellosis	Bacteria	Dolores abdominales, diarreas, náuseas, vómitos, fiebre.	Animales domésticos, personas enfermas.
Hepatitis	Virus	Fiebre, náuseas, anorexia, malestar general.	El hombre.
Disenterías	Protozoario	Diarreas, fiebre, vómito, cólico.	El hombre y animales domésticos.
Giardiasis	Protozoario	Asintomático, asociada con diarreas	El hombre.
Cólera	Bacteria	Fiebre, diarreas, malestar abdominal, vómitos.	El hombre y animales domésticos.
Fiebre tifoidea	Bacteria	Fiebre, malestar general, anorexia, pulso lento.	El hombre, paciente o portador.

6 Riesgos de los subproductos de la desinfección

Uno de los inconvenientes ligados a la desinfección son los sub-productos de la desinfección (o productos de la desinfección o como se los conoce en términos de la ingeniería SPDs o bien en su acepción inglesa: DBPs –Disinfection by products).

Es fundamental que todo aquél que esté trabajando en esta línea del tratamiento de agua, tenga absolutamente claro qué significa “el riesgo por desinfección” y qué “el riesgo por no desinfección”. Ya que el riesgo de enfermar o morir por enfermedades microbiológicas que están presentes en el agua, toda vez que ésta no esté desinfectada, es mucho más alto que los riesgos de enfermar por uno de los subproductos de la desinfección..

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA) expresan que “bajo ningún concepto debe comprometerse la desinfección de las aguas de consumo”.

Es conveniente, por tanto, adoptar los siguientes criterios:

- Dar preferencia al uso de recursos protegidos naturalmente, en lugar de usar aguas subterráneas de acuíferos vulnerables, o aguas superficiales cuya calidad pueda requerir la aplicación de tratamientos complejos.
- Realizar el mejor tratamiento previo posible del agua, que permita eliminar la mayor cantidad de materia orgánica.
- Introducir o mantener el tratamiento de desinfección que se requiera. Bajo ninguna circunstancia la detección de subproductos de la desinfección debe ocasionar la reducción de este tratamiento, ó peor aún interrumpirlo.

7 Características deseables de un desinfectante

El desinfectante ideal deberá reunir las siguientes características:

- Destruir o inactivar, dentro de un tiempo determinado, las clases y número de microorganismos patógenos presentes en el agua.
- Ser fiable para usar dentro del rango de condiciones que podrían encontrarse en el abastecimiento de agua.
- Mantener una concentración residual adecuada en el sistema de distribución de agua a fin de evitar la recontaminación.
- No introducir ni producir sustancias tóxicas o, en caso contrario, éstas deben mantenerse por debajo de los valores guía.
- Ser seguro y conveniente de manejar y aplicar en las situaciones en que se prevé su uso.
- El análisis para determinar la concentración de desinfectante en el agua debe ser exacto, sensible, rápido y apropiado.
- El costo del equipo, instalación, operación, mantenimiento y reparación, así como su adquisición y el manejo de los materiales requeridos para sustentar permanentemente una dosificación eficaz, deben ser asequibles.

8 La cloración como método de desinfección

Es un mecanismo de desinfección de mayor aplicación en los sistemas de abastecimiento de agua rural, debido a que:

- Es accesible
- Tiene alta capacidad oxidante que es el mecanismo de destrucción de la materia orgánica
- Tiene potencia germicida de espectro amplio
- Tiene propiedades residuales.
- El equipo para su dosificación es usualmente sencillo, confiable y de bajo costo.
- Además, en el ámbito de pequeñas comunidades hay varios dosificadores de “tecnología apropiada” que resultan fáciles de usar y de aceptar por los operadores locales.
- Los productos basados en el cloro se consiguen fácilmente
- Es económico y
- Es eficaz con relación a sus costos.

9 Consideraciones para la cloración como método de desinfección

9.1 Productos disponibles

Los productos de la familia del cloro disponibles en el mercado para realizar la desinfección del agua son:

- o Cloro gaseoso (no aplicable al ámbito rural) El uso de cloro gas no es recomendable para caudales menores a 500 m³/día, lo que a una dotación de 100 litros por habitante por día, típica del medio rural, significa que *el cloro gas solo es recomendable para poblaciones mayores de 5,000 habitantes.*
- o Cal clorada
- o Hipoclorito de sodio
- o Hipoclorito de calcio

9.2 Selección de los productos

Para elegir cual de estos productos se ha de emplear, así como el mecanismo para suministrarlo, el(los) responsable(s) de esta selección deberá(n) basar su decisión en la respuesta a las siguientes interrogantes:

- o ¿Cuál es la **CANTIDAD** necesaria del producto desinfectante?
La *cantidad* necesaria de desinfectante está en función del caudal de agua a tratar, la dosis requerida de desinfectante según la calidad de agua y las normas de calidad de agua de bebida del país. Existe sin embargo, una regla no escrita que establece un límite entre el uso de cloro gas y otras formas. Tal frontera la marca el caudal de 500 m³/día.
- o ¿Cuales son las posibilidades de **ABASTECIMIENTO** del producto?
El *Abastecimiento* del producto es un factor condicionante para la selección del mismo, ya que en muchos casos las zonas rurales se encuentran muy alejadas de las ciudades y son de difícil acceso, lo cual podría sugerir la necesidad de emplear otro desinfectante o bien de preparar hipoclorito de sodio in situ.
- o ¿Con qué **CAPACIDAD TÉCNICA** se cuenta para el uso, la operación y mantenimiento de los equipos?
La *capacidad técnica* disponible debe ser considerada para la selección, ya que operar instalaciones que sean complicados requiere de personal entrenado y capaz, difícil de encontrar y remunerar en zonas rurales. Así mismo el acceso a energía eléctrica de manera continua y estable es requisito indispensable para el empleo de bombas.

- ¿Se cuenta con los recursos necesarios para evitar los **RIESGOS** a la salud de los trabajadores durante el almacenamiento y manipuleo?
Dado que el cloro es tóxico, es importante capacitar al personal responsable de las zonas rurales sobre los efectos de un inadecuado manejo de los sistemas de desinfección para minimizar y controlar los *riesgos* inherentes a estas instalaciones.
- ¿Se dispone de la capacidad económica y financiera para asumir los **COSTOS** de inversión, operación y mantenimiento?
Por último, en lo que se refiere a los *costos* de la desinfección, se habrá de tener en cuenta las circunstancias, por ejemplo: una solución más costosa podría convenir si la fiabilidad, durabilidad, sencillez de operación y disponibilidad de repuestos y suministros son mejores que los del sistema menos costoso. Generalmente conviene pagar un poco más si la inversión adicional asegurará el éxito; y a la larga puede que inclusive sea más económica. Dado que las concentraciones de cloro activo en los diferentes productos de cloro varían, y por tanto el volumen requerido del mismo también variará, deberán ser considerados los costos de transporte. En todo caso, la salud debe ser la consideración principal al momento de seleccionar la alternativa más adecuada.

9.3 Propiedades de los productos del cloro

Las diversas variedades comerciales del cloro se obtienen por métodos diferentes, y de ellos dependen la concentración de cloro activo, su presentación y estabilidad. En el cuadro 4 se listan las principales propiedades de cada una de estas variedades.

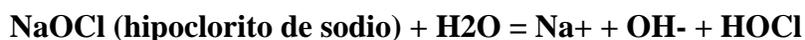
Cuadro N° 4. Propiedades de los productos del cloro

Nombre y formula	Nombre comercial o común	Aspecto	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
Cal clorada CaO.2CaCl 2O. 3H2O	Cal clorada, Polvo blanqueador, hipoclorito de calcio, cloruro de cal	Polvo blanco seco	15 a 35%	Media. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Pérdida de 1% al mes.	Corrosivo	Latas de 1.5 kg Tambores de 45 - 135 kg Bolsas plásticas o de papel de 25 - 40 kg, otros.
Hipoclorito de sodio NaClO	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1 a 15% como máximo. Concentraciones mayores a 10% son inestables.	Baja. Pérdida de 2- 4% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio, y garrafones
	Hipoclorito de sodio por electrólisis <i>in situ</i>	Solución líquida amarillenta	0.1 - 0.6 %	Baja	Oxidante	Volumen variable
Hipoclorito de calcio Ca(ClO)2.4 H2O	HTH, Perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólido blanco	Polvo: 20 - 35% Granulado: 65 - 70% Tabletas: 65 -70%	Buena. Pérdida de 2- 2.5% por año	Corrosivo. Inflamación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.	Latas de 1.5 kg, tambores 45 - 135 kg, baldes de plástico

9.4 Mecanismos de la desinfección con cloro

La cloración del agua potable se lleva a cabo en la práctica mediante el burbujeo del cloro gaseoso o mediante la disolución de los compuestos de cloro y su posterior dosificación. El cloro en cualquiera de sus formas, se hidroliza al entrar en contacto con el agua, formado ácido hipocloroso (HOCl) de la siguiente forma:

En el caso del *hipoclorito de sodio*, la reacción que tiene lugar es:



O en el caso del *hipoclorito de calcio* y la porción activa de la *cal clorada*, la reacción es:



Durante el proceso químico de la desinfección, se producen compuestos tales como cloraminas, dicloraminas y tricloraminas en presencia de amoníaco en el agua. Las cloraminas sirven igualmente como desinfectantes aunque reaccionen de una manera sumamente lenta. Asimismo, se forman el ácido clorhídrico (HCl) y los hidróxidos de calcio y sodio, los cuales no participan en el proceso de desinfección.

La especie desinfectante es el ácido hipocloroso (HOCl), el cual se disocia en iones hidrógenos (H⁺) e hipoclorito (OCl⁻) y adquiere sus propiedades oxidantes:



Ambas fracciones de la especie son microbicidas, y actúan inhibiendo la actividad enzimática de las bacterias y virus, y produciendo su inactivación.

Tanto el ácido hipocloroso (HOCl) como el ión hipoclorito (OCl⁻) están presentes hasta cierto punto cuando el pH varía entre 6 y 9 (el rango usual para el agua natural y potable). Cuando el valor de pH del agua clorada es 7.5, el 50% de la concentración de cloro presente será ácido hipocloroso no disociado y el otro 50% será ión hipoclorito.

Los diferentes porcentajes de HOCl y OCl⁻ a diferentes valores de pH pueden verse en la figura. Las diferentes concentraciones de las dos especies significan una considerable diferencia en la propiedad bactericida del cloro,

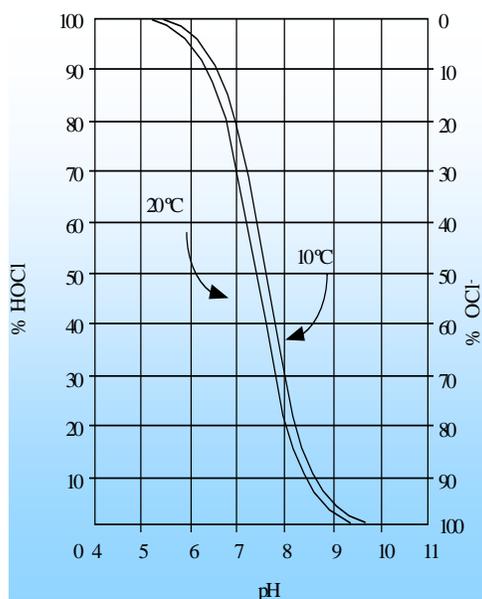


Fig. 2. Comportamiento de las fracciones del ácido hipocloroso respecto a variaciones de pH

ya que estos dos compuestos presentan diferentes propiedades germicidas. En realidad, la eficiencia de HOCl es por lo menos 80 veces mayor que la del OCl⁻.

Por esta razón, cuando es monitoreado el cloro del agua, es aconsejable vigilar el pH, ya que esto dará una idea del potencial real bactericida de las especies desinfectantes presentes. La turbiedad es otro factor importante de tener en cuenta al momento de la desinfección, ya que una excesiva turbiedad reducirá la efectividad por absorción del cloro, y por otro lado protegería a las bacterias y virus de su efecto oxidante.

10 Selección de sistemas de desinfección

El propósito de seleccionar un sistema de desinfección es obtener eficacia máxima del desinfectante sobre la variedad más amplia de condiciones microbiológicas esperadas; mejor economía general; efectos indeseables mínimos sobre el agua que se va a tratar; y fiabilidad máxima, con el fin de obtener los mayores beneficios para la salud. En circunstancias normales, ningún sistema de desinfección alcanzará todas estas metas. Es por lo tanto una buena idea considerar primero la importancia jerárquica de los objetivos para la aplicación específica, y luego establecer un equilibrio razonable entre las prioridades de desempeño. Esto requiere un buen entendimiento de las propiedades y características de los diferentes desinfectantes; el conocimiento de los microorganismos objeto de la desinfección; información integral sobre las condiciones existentes (físicas y socioeconómicas), y un buen conocimiento de los desinfectantes y del equipo de desinfección.

10.1 Consideraciones generales

10.1.1 En general

La información sobre las condiciones generales relacionadas con la selección de sistemas de desinfección puede incluir el clima, precipitación pluvial, temperatura, humedad, topografía, comunicaciones, transporte, infraestructura comercial y disponibilidad y fiabilidad de la energía eléctrica. También es necesario tener suficiente información sobre el tipo, capacidad y cantidad de las fuentes de agua; su calidad química, biológica y física; el tratamiento antes de la desinfección, y el nivel actual y potencial de la contaminación. Además, conviene tener conocimiento de la incidencia de diversas enfermedades que pueden ser transmitidas por el agua.

Toda esta información es importante para determinar:

- a. Si el abastecimiento de agua es adecuado
- b. La factibilidad de una desinfección fiable
- c. Los procesos que puedan hacer falta para cambiar y adecuar la situación, a fin de asegurar una desinfección fiable y eficaz.

En resumen se debe hacer un análisis cuidadoso de todos los factores normativos, sociales, técnicos y económicos que pueden influir de una manera u otra para que la selección del sistema de desinfección sea la más adecuada posible.

10.1.2 Normativo

El sistema de desinfección deberá garantizar la calidad del agua para el consumo humano, cumpliendo con la normatividad vigente o las Guías de la OMS si no hubiera. Los valores referenciales de índole bacteriológico y químico (cloro) son:

Cuadro N° 5. Valor referencial de parámetros de control de calidad del agua

Referencia	Parámetro	Valor referencial	Observaciones
Norma Calidad del Agua (1946)	Cloro	----	Cloro residual en el agua > 0,3 mg/lit y <0.6 mg/lit,
	Coli fecales o E. Coli	0 UFC/100 ml	
	Coliformes totales	0 UFC/100 ml	
Guías para la calidad del agua Potable (Tercera Edición Volumen 1) – OMS-2004	Cloro	5 mg/lit	Para que la desinfección sea eficaz, debe haber una concentración residual de cloro libre $\geq 0,5$ mg/litro tras un tiempo de contacto de al menos 30 min a pH <8,0
	Coli fecales o E. Coli	0 UFC/100 ml	
	Coliformes totales	0 UFC/100 ml	

10.1.3 Económico

La tecnología menos costosa no siempre es la más conveniente. La desinfección es tan importante que la fiabilidad, continuidad y eficacia generalmente tienen prioridad sobre los costos iniciales o los de operación y mantenimiento. Según las circunstancias, una solución más costosa podría convenir si la fiabilidad, durabilidad, sencillez de operación y disponibilidad de repuestos y suministros son mejores que los del sistema menos costoso. En todo caso, la salud debe ser la consideración principal.

Los métodos más costosos son bastante moderados en comparación con el costo médico y social de las enfermedades transmitidas por el agua, como el cólera, la tifoidea, la hepatitis, las diarreas y otras. Pero en todo caso, es importante determinar el costo de la desinfección, tanto en forma comparativa como cuantitativa. Estos costos variarán considerablemente en función de las condiciones locales, la disponibilidad de los dispositivos de desinfección de fabricación nacional y de los desinfectantes químicos, la infraestructura y otros factores.

En algunos casos se pueden reducir los costos fabricando el equipo y los materiales de desinfección localmente.

10.1.4 Técnico

La disponibilidad y fiabilidad de una fuente de energía eléctrica suele ser un factor determinante que en muchos casos restringe la selección de algunas tecnologías de desinfección para los sistemas de abastecimiento de agua para comunidades pequeñas. Por ejemplo, podría excluir el uso de los dispositivos para la generación de desinfectantes en el

sitio, y bombas de dosificación. En este caso probablemente sería preferible utilizar uno de los varios dispositivos para hipocloración por gravedad, que no requieren electricidad para su operación.

Los sistemas de desinfección de agua potable para comunidades pequeñas varían considerablemente en cuanto a complejidad técnica y requisitos de operación y mantenimiento. En general, los sistemas más complejos requieren personal más calificado que los sencillos, aunque estos últimos pueden requerir atención más frecuente.

En el Cuadro 6 se resume las características, el comportamiento y la eficacia relativa de los desinfectantes más comúnmente empleados en los sistemas de abastecimiento comunitario de agua. Esta información proporciona datos preliminares que facilitan la selección inicial de desinfectantes y sistemas de desinfección.

Cuadro N° 6. Características del desinfectante

Factores y consideraciones especiales	Características del desinfectante	
	Hipoclorito	Cloraminas
CLASE DE USO	Primario y secundario	Secundario solamente
EFICACIA DEL DESINFECTANTE: Bacterias Virus Protozoos Helmintos	Muy bueno como HOCl Muy bueno como HOCl Regular Bueno	Deficiente Deficiente Muy deficiente -----
INFLUENCIA DE: pH Alta turbiedad o sólidos suspendidos Disminución de temperatura Amoniaco/productos.orgánicos	El aumento reduce la eficiencia Protege a los microorganismos contra el desinfectante Reduce la eficiencia Se forman compuestos organoclorados	pH > 7; monoclорaminas pH < 5; dicloraminas Protege a los microorganismos contra el desinfectante Reduce la eficiencia Poco efecto
EFFECTOS DEL DESINFECTANTE: Sobre la salud Sobre el sabor y olor	Ninguno a la dosis normal Insignificante en ausencia de productos orgánicos	Ninguno a la dosis normal Insignificante
DERIVADOS IMPORTANTES: Sabores/olores Subproductos indeseables	De la reacción con productos orgánicos y fenoles Trihalometanos, ácido acético clorado, haloácido nitrilos y otros.	Ninguno para monoclорaminas Moderado para dicloraminas Alto para tricloraminas Se forma cloruro de cianógeno
TIEMPO DE CONTACTO	30 minutos	Muy largo

Por ejemplo, el cloro como hipoclorito es un buen desinfectante en dosis adecuadas contra bacterias, virus, algunos protozoos y helmintos, pero no es muy eficaz contra todos los microorganismos, en particular protozoos y virus, no proporciona un residual duradero y puede requerir de una fuente fiable de electricidad para su generación, así como de técnicos mejor calificados que los requeridos para operar instalaciones de hipocloración. Ver cuadro 6.

10.1.5 Social

En algunos casos la organización social, las aptitudes disponibles y la infraestructura que apoyan a las comunidades pequeñas quizás no sean adecuadas para satisfacer los requisitos técnicos de ciertos sistemas de desinfección. Es por lo tanto necesario investigar y considerar estos aspectos durante el proceso de selección del sistema de desinfección.

Los arreglos que se hagan para la operación y mantenimiento deben ser compatibles con la situación local. Es importante asegurar que la comunidad, la entidad encargada del abastecimiento de agua y las autoridades de salud locales, según el caso, hayan aceptado responsabilidades claramente definidas para la desinfección. Los planes para la desinfección se deben hacer en consulta con la autoridad local, para que todos los interesados estén informados acerca de sus responsabilidades y derechos y estén de acuerdo con ellas.

Tal vez convenga que una organización local, como el comité del agua, participe en la selección del sistema de desinfección, y esté consciente de las responsabilidades que implica y concuerde con ellas, incluyendo las necesidades financieras y de cualquier otro apoyo que se necesite. En teoría, esta debía de ser la misma organización que se encargue de asegurar que hay personas con las aptitudes mínimas requeridas a nivel local para garantizar el uso y el mantenimiento adecuados del sistema de desinfección.

Un principio básico para asegurar el éxito de los programas de abastecimiento de agua para comunidades pequeñas es hacer que participen activamente en la selección del tipo de sistema que se adopte, de modo que se tengan en cuenta las necesidades y preferencias locales y los usuarios sepan de antemano las consecuencias (ventajas y desventajas) de las diversas opciones. Se ha postulado que sin esa participación comunitaria, las probabilidades de fracaso son muy altas.

A fin de contribuir a la toma de decisiones en el anexo a.1 se muestra una tabla comparativa de ventajas y desventajas de los diferentes equipos dosificadores de cloro.

10.2 Consideraciones específicas

El proceso de selección de los sistemas de desinfección debe considerar los factores principales mencionados anteriormente para determinar si la desinfección es factible, en las condiciones existentes.

Sin embargo, la selección de los sistemas para situaciones locales es intrínsecamente específica y, por lo tanto, debe tener en cuenta las limitaciones y restricciones tecnológicas, físicas y económicas locales.

La primera consideración será la determinación de disponibilidad de desinfectantes o materiales para su producción. El sistema debe ser compatible con las aptitudes técnicas disponibles, la provisión de piezas de repuesto, talleres de reparación y capacidad para la

operación y mantenimiento. Es probable que estas restricciones limiten considerablemente la factibilidad técnica de algunos de los sistemas de desinfección aquí considerados.

El proceso de selección de los sistemas de desinfección puede dividirse en una serie de pasos para la toma de decisiones. El orden en que se presentan la secuencia de decisiones es importante que se mantenga.

10.2.1 Característica del desinfectante (paso 1)

- Monitoreo de la calidad del agua, para determinar si el desinfectante es eficaz contra los presuntos agentes patógenos en las condiciones predominantes en el terreno. Para esto, primero es necesario tener una buena idea de los agentes patógenos que generalmente están presentes en las aguas que se van a desinfectar. Esa información tal vez ya puede haber sido determinada por un programa de la calidad del agua.

10.2.2 Efecto residual (paso 2)

- En el proceso de selección de un sistema de desinfección adecuado es el de verificar que el desinfectante produzca un residual eficaz. Si el desinfectante primario no lo deja, se debe determinar la factibilidad de agregar un desinfectante secundario. En este momento también se debe considerar si va a ser factible monitorear el residual en la red de distribución.

10.2.3 Características del agua a desinfectar (paso 3)

- Determinar las características del agua a desinfectar, determinar si las condiciones predominantes de **pH** (la OMS recomienda un pH < 8), **temperatura** y **turbiedad** (la OMS recomienda una turbiedad < 5 UNT, siendo lo ideal < 1 UNT) del agua que se va a desinfectar son compatibles con las características del desinfectante en consideración. Si no lo son, ¿será más factible cambiar o modificar esas condiciones, o cambiar a un desinfectante más apropiado?. Este paso requiere una buena comprensión de los factores limitativos de cada desinfectante y un conocimiento profundo de las condiciones, características y variaciones de éstas en el agua, que pueden esperarse durante todo un año.

10.2.4 Infraestructura existente (paso 4)

- Evaluar si la **infraestructura existente** para apoyar el sistema de desinfección propuesto es adecuada. Esta es probablemente la determinación más complicada y difícil, pues debe tener en cuenta no solamente los servicios de **apoyo técnico** y **logístico** del equipo y los proveedores de productos químicos, sino también los sistemas de transporte y comunicaciones que sirven a las comunidades en cuestión.
- Evaluar la fuente de energía eléctrica, la organización política y administrativa y el nivel promedio de educación de los residentes de la comunidad.

- Habrá que preguntarse si: ¿Se basarán los servicios de apoyo en el sector privado o el sector público? ¿Existen representantes fiables del equipo y productos químicos con repuestos y materiales en existencia? ¿Pueden estos prestar servicio de reparación y apoyo técnico a los operadores? ¿Será preciso importar los repuestos y materiales? En ese caso, ¿se dispone de capacidad de almacenamiento suficiente para garantizar piezas de repuesto de manera oportuna? De no ser así, ¿es factible entonces fortalecer adecuadamente la infraestructura de apoyo? Para llegar a una conclusión será necesario estudiar todas estas cuestiones.

10.2.5 Aptitudes técnicas (paso 5)

- Evaluar las aptitudes técnicas disponibles y determinar si son adecuadas para cumplir con los requisitos de operación, mantenimiento y reparaciones. Si esas aptitudes son deficientes, ¿se puede ofrecer el adiestramiento necesario para que los administradores y operadores puedan realizar de una manera aceptable el trabajo requerido? ¿Cuánto adiestramiento y de qué clase se necesitará? ¿Como se va a financiar? ¿Quién lo va a ofrecer?

10.2.6 Formación de subproductos (paso 6)

- En el sexto paso se debe considerar evitar o disminuir la formación de subproductos nocivos o indeseables de la desinfección.

10.2.7 Costo (paso 7)

- Finalmente el séptimo paso es considerar el costo de la desinfección. Sobre una base per cápita, todas las formas de sistemas de desinfección de agua para comunidades son económicas, variando las mismas desde EUA \$0,50 hasta \$2,00 por persona al año. En el anexo a.1 se muestran los costos relativos de los distintos sistemas de cloración
- La relación costo/beneficio es abrumadoramente favorable, sin embargo es útil comparar las ventajas y desventajas de los sistemas apropiados, en caso de haber más de uno para seleccionar el mejor. En el anexo a.2 se indican las ventajas y desventajas de los sistemas de cloración

11 Sistemas de desinfección

La selección del equipo dosificador o alimentador de cloro, tal como se había mencionado, depende de tres factores:

- Las características del producto clorado.
- La dosis de cloro en el agua.
- El caudal del agua a desinfectar.

Con base en estos factores es posible clasificar algunos de los equipos más usados, de la siguiente manera:

Cuadro N° 7. Clasificación de equipos

Clasificación	Equipo dosificador	Producto	Rango de servicio (habitantes)
Cloro gaseoso (No aplicable a sistemas rurales por su costo)	A presión (directo) Al vacío (Venturi o eyector)	Gas Cloro Gas Cloro	5.000 habitantes a grandes ciudades
Solución	Bajo presión atmosférica, de carga constante		
	Tanque con válvula de flotador Tuvo con orificio en flotador Sistema vaso /botella	Hipoclorito de Na o Ca Hipoclorito de Na o Ca Hipoclorito de Na o Ca	< 5.000
	Bajo presión positiva o negativa		
	Bomba de diafragma(positiva) Dosificador por succión(negativa)	Hipoclorito de Na o Ca Hipoclorito de Na o Ca	[2.000 – 300.000]
	Generador de hipoclorito de sodio <i>in situ</i>		
Sólido	Dosificador de erosión Otros dosificadores (flujo difusión)	Hipoclorito de Calcio Cal clorada	[2.000 – 50.000] < 2.000

11.1 Bajo presión atmosférica

Fuera del gas, todos los otros productos químicos basados en el cloro son líquidos o siendo sólidos pueden ser disueltos y usados como una solución. Ésta es la manera más popular de desinfectar en el medio rural. Es sencilla, fácil, económica y pueden usarse muchos dispositivos de tecnología apropiada disponibles. Existen varias maneras de alimentar una solución, y con base en ello se pueden clasificar a los equipos dosificadores según su fuerza de impulsión. Así se tiene a aquellos que trabajan bajo presión atmosférica y aquellos que trabajan bajo presión positiva o negativa.

En el caso de los dispositivos que trabajan bajo presión atmosférica se han diseñado de carga variable como el dosificador de paletas en canal o el de rueda de Arquímedes.

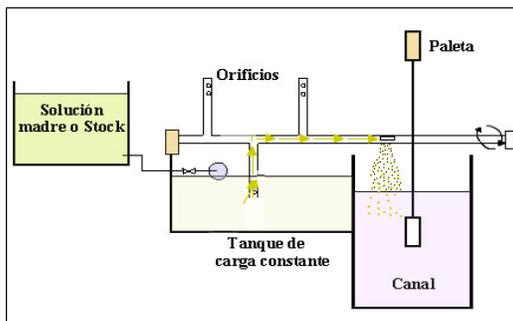


Fig. 3. Dosificador de paletas en canal

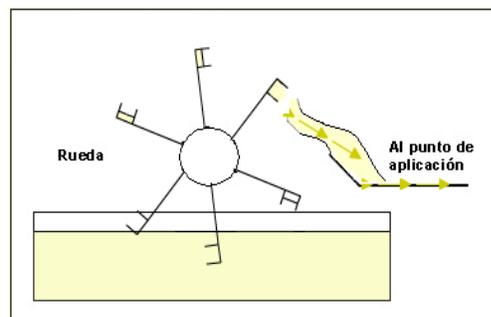


Fig. 4. Rueda de Arquímedes

Sin embargo, los más usados han sido los que operan bajo el principio de “carga constante” debido fundamentalmente a su mayor precisión y confiabilidad. Un sistema de carga constante está compuesto de dos elementos: un tanque de carga constante que contiene una solución stock a ser dosificada y un mecanismo de regulación. Aquí se

muestran tres de los sistemas más recomendados, los cuales están hechos con materiales fácilmente obtenibles en el ámbito local. De ellos tal vez el más popular ha sido el sistema de tubo con orificio en dispositivo flotante, el cual se utiliza en numerosos países.

11.1.1 Tanque con válvula flotador

El corazón de este sistema es una válvula de flotador, de la misma clase que la usada en los depósitos de inodoro. Uno o dos tanques contienen la solución stock (o matriz o madre o concentrada) a ser alimentada, y la válvula de flotador se coloca en un tanque pequeño. El sistema, aunque sencillo y barato, es bastante exacto.



Fig. 5. Tanque con válvula flotador

11.1.2 Tubo con orificio en flotador

Se ha usado ampliamente en varios arreglos diferentes. El elemento básico es un tubo de PVC con uno o más orificios. El tubo se fija a un dispositivo flotante y el orificio debe colocarse algunos centímetros debajo del nivel de la solución. La solución ingresa al tubo y fluye hacia abajo a la tasa deseada de alimentación hacia el punto de aplicación. Una ventaja de este tipo de hipoclorador es que no se corroe, debido a que está hecho de tubería plástica, además no hay válvulas que se descompongan, y se limpian fácilmente las obstrucciones producidas por depósitos de calcio o magnesio. La tasa de dosificación se puede ajustar fácilmente con tan solo cambiar la profundidad de inmersión de los orificios. Cuando se diseña, instala y mantiene adecuadamente, este tipo de clorador ha demostrado ser convenientemente exacto y fiable.



Fig. 6. Tubo con orificio en flotador

11.1.3 Sistema vaso/botella

Este sistema fue desarrollado en Argentina, para la desinfección de agua en zonas rurales. Consta de un tanque con la solución stock, un elemento de dosificación, conexiones y una válvula de regulación. Este sistema es económico, fácil de construir, operar y preciso.



Fig. 7. Sistema vaso botella

11.2 Bajo presión positiva o negativa

11.2.1 Bomba diafragma (positiva)

Los “dosificadores de presión positiva” trabajan sobre el principio de que la solución de cloro es presurizada encima de la presión atmosférica y posteriormente inyectada a una cañería (tubería) de agua. El sistema de presión positiva más importante es la popular bomba de dosificación de diafragma.

11.2.2 Dosificador por succión (negativa)

Los “dosificadores de presión negativa” o de succión trabajan sobre el principio de que la solución de cloro es succionada por el vacío creado por un dispositivo Venturi o al conectar el equipo dosificador a una tubería de aducción. El sistema de presión negativa más usado es el dispositivo Venturi, instalándose en la misma tubería presurizada de agua de abastecimiento o en una línea alterna como se mostrará más adelante.



Fig. 8. Bomba diafragma

11.3 *Generador de hipoclorito de sodio in situ*

Electrólisis de cloruro de sodio *in situ*. Dada su importancia, una desinfección no puede ser intermitente. En tal sentido, el aprovisionamiento continuo del producto desinfectante es un requisito fundamental que deberá ser tomado en cuenta al momento de seleccionar el mecanismo de desinfección. Es por ello que en pequeñas localidades o comunidades rurales alejadas o de difícil acceso, donde la continuidad del aprovisionamiento de hipoclorito no pueda ser asegurada, ya sea por la disponibilidad del transporte o por la capacidad económica de adquisición



Fig. 10. Sistema de producción in situ para una comunidad de 5,000 hab

en el momento oportuno, una alternativa que deberá ser evaluada es la generación de hipoclorito de sodio *in situ*.



Fig. 9. Equipo de electrólisis

11.3.1 *Producción por celdas con fuente eléctrica o solar*

Esta técnica consiste en someter una solución de cloruro de sodio de concentración aproximada al 3% a un proceso de electrólisis, lo que permite obtener unos 400 litros al día de una solución estable de concentración alrededor del 0,6% de hipoclorito de sodio. A través de este mecanismo, es posible suministrar agua de calidad adecuada a una población de hasta 5.000 habitantes, ya sea por medio de sistemas convencionales de dosificación en sistemas comunales, o directamente en las viviendas a través de programas de desinfección intradomiciliarios.

Los dispositivos generadores de hipoclorito de sodio *in situ* requieren de energía eléctrica para su funcionamiento, por lo cual será un requisito contar con una fuente de energía estable. En caso de no contar con la misma, una alternativa de solución será acondicionar el equipo con paneles de energía solar y baterías.

Estos dispositivos hasta hace algunos años eran inadecuados técnicamente para ser aplicados como una alternativa de solución para los países en desarrollo, debido a su complejidad y elevado costo. Sin embargo, debido al uso de nuevos materiales como el titanio para la producción de ánodos dimensionalmente estables (“DSA anodos”), y a mejoras en las fuentes de energía, están comenzando a popularizarse. Para que los generadores de hipoclorito de sodio sean eficaces y apropiados para las condiciones existentes en zonas rurales y pueblos pequeños, tienen que:

- Ser económicos de adquirir, operar y mantener,
- Ser sencillos de operar y mantener,

- Ser fiables y duraderos, con producción uniforme,
- Ser capaces de usar sal de mesa (cloruro de sodio) disponible localmente, y
- Tener una capacidad de producción entre 0,5 y 2,0 kg de cloro activo en un periodo de 24 horas.

Se han desarrollado varios dispositivos comerciales en varios países del mundo, sobre los cuales existe un buen trabajo de evaluación técnica de los más populares preparado por el CEPIS/OPS. La aplicación de estos sistemas deberá regirse por las características y los requisitos del abastecimiento de agua en consideración.

11.3.2 Dosificador de carga constante o por goteo

Este dosificador por goteo permite dosificar hasta un caudal de 125 ml/s para una concentración de cloro de 0,5% (5,000 mg/l) Este dispositivo tiene una capacidad de tratar caudales hasta de 8 L/s.



Fig. 11. Dosificador de carga constante

Las características de este dosificador son:

- Está construida con tubería de PVC para agua y desagüe.
- Es desmontable
- Su operación es sencilla.
- Es resistente a la corrosión

11.4 Erosión

11.4.1 De tabletas y píldoras de hipoclorito de calcio

Equipo dosificador por erosión de tabletas y dosificadores de píldoras. Los equipos dosificadores que trabajan bajo el “sistema por erosión” utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración (HTH), las que se pueden obtener de distribuidores o prepararse localmente comprimiendo mecánicamente polvo de hipoclorito de calcio. Este sistema ha encontrado un lugar importante en la desinfección de abastecimientos de agua para comunidades pequeñas e individuales.

Los equipos son muy fáciles de manipular y mantener, además de ser baratos y duraderos; y las tabletas son más seguras que las soluciones de hipoclorito y el cloro gaseoso, y más fáciles de manejar y de almacenar.

Los dosificadores de erosión disuelven gradualmente las tabletas de hipoclorito a una tasa predeterminada mientras fluye una corriente de agua alrededor de ellas. Este mecanismo proporciona la dosificación necesaria de cloro para desinfectar el agua. Según

las tabletas se van diluyendo, se reemplazan con otras nuevas que van cayendo por gravedad en la cámara.

La solución de cloro concentrada alimenta un tanque, un canal abierto o un reservorio, según sea el caso.



Fig. 12. Presentación de diferentes Dosificadores de tabletas de hipoclorito de calcio

11.5 Difusión

Denominado Hipoclorador de flujo difusión. Este dispositivo, desarrollado por el MINSA está construido con materiales de PVC. El CEPIS/OPS ha desarrollado una nueva versión que tiene una capacidad para tratar caudales de 0,35 lt/s, con cloro residual entre 1,62 y 0,57 mg/l.

Este hipoclorador por difusión tiene una altura máxima de 60 cm, la distancia entre agujeros está entre 1,5 ó 3 cm; esto origina dos modelos, los cuales trabajan con caudales comprendidos entre 0,2 a 0,35 lt/s.

La altura efectiva del hipoclorador y la distancia entre los agujeros se determinan a partir de la dosis a aplicar, el cloro residual deseado, el caudal y el número de días de operación del hipoclorador.

Este hipoclorador tiene las siguientes características:

- Está construida con tubería de PVC de agua y desagüe
- Es desmontable
- Su operación es sencilla

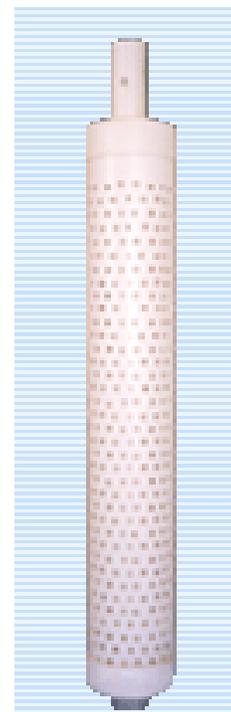


Fig. 13. Flujo difusión

- Trabaja con hipoclorito de calcio al 30 -35%

En el anexo a.3, se muestran los puntos de aplicación de cada uno de los sistemas de desinfección disponibles. Los anexos a.4 y a.5 muestran la aplicabilidad del cloro y los atributos de los distintos equipos y dosificadores.

12 Desinfección en situaciones de Emergencia

Las medidas de largo plazo para la provisión de agua segura, más la higiene personal y la educación sanitaria, ayudarán enormemente a proteger y a promover la salud pública. Sin embargo, los desastres naturales como terremotos, inundaciones y otros fenómenos a veces interrumpen completamente los sistemas de abastecimiento de agua. Mientras se realizan los esfuerzos para volver a poner los sistemas en operación, se debe asignar alta prioridad al abastecimiento de agua segura a la población afectada.

Si bien no hay una medida que sea la panacea para todas las situaciones, lo siguiente puede ser útil para asegurar un suministro de agua seguro, dependiendo de las condiciones locales y de los recursos disponibles. Una acción simultánea para superar la situación debería incluir la búsqueda minuciosa de todas las fuentes de agua posibles dentro de una distancia razonable al área afectada. El agua de sistemas privados de abastecimiento y aún de otras fuentes puede ser transportada por tanques rodantes hasta los puntos de consumo.

En una situación de emergencia, si la cantidad es importante, la calidad es obligatoria, para lograr la seguridad bacteriológica se debe asegurar una desinfección adecuada. No hacerlo puede significar el desarrollo de las temidas pandemias que no solo enferman física, sino espiritualmente a una población, que por el mismo desastre sufrido está en estado de choque psicológico. Luego de un desastre hay dos momentos. Uno “absolutamente inmediato” y otro “inmediato mediato”, que tiene lugar después del segundo o tercer día de ocurrido el evento. En el primero, cuando aún está demasiado fresco el impacto del evento (sea un terremoto, una inundación, etc.) hay mucho desorden y una falta de medios de todo tipo. En esos casos solo queda recomendar hervir el agua como método de tratamiento. Una vigorosa ebullición durante un minuto elimina cualquier microorganismo que pueda estar presente en el agua contaminada.

En el segundo momento, esto es, cuando han transcurrido dos o tres días después del impacto del siniestro, ocurre un fenómeno que configura una situación peculiar por la que deben pasar, sobretodo los oficiales de salud. Y ello no se debe a la falta de desinfectantes, sino por el contrario, al exceso de ellos. Después de que un fenómeno azota un área, debido a las donaciones, ésta queda abastecida con una gran variedad de desinfectantes; normalmente, compuestos basados en cloro, pero de diferentes composiciones y concentraciones; es entonces útil tener el conocimiento indispensable para manejarlos adecuadamente.

Al respecto, se presentan dos sugerencias:

- En primer lugar, es importante que la población nunca prepare o maneje soluciones de hipoclorito de alta concentración (soluciones «stock» o madre). Al usuario debe

- entregársele una solución desinfectante lista para ser usada en un sistema de tipo «batch» (para la desinfección de un tanque o recipiente domiciliar).
- En segundo lugar, una solución ideal «stock» para usarse en situaciones de emergencia es la que presenta una concentración de 5.000 mg de cloro/litro.

Los oficiales de salud deben preparar las soluciones stock a partir de productos clorógenos con la siguiente fórmula.

$$\frac{V \text{ agua} \times C \text{ stock}}{C \text{ producto} \times 10} = W \text{ producto}$$

Donde:

Vagua	=	Volumen de solución stock que será preparada, en litros
Cstock	=	Concentración de la solución stock (si, como se ha sugerido, se pretende una concentración de 5.000 de mg de cloro/litro de agua, entonces el valor para Cstock debe ser = 5.000)
Cproducto	=	La concentración de cloro en el producto, según lo especifica el fabricante (en la fórmula solo debe colocarse el número, por ejemplo 65 cuando la concentración de cloro en el producto es 65%)
10	=	Factor para que el resultado sea dado en gramos del producto
Wproducto	=	Gramos de producto a disolver en Vagua

No existe una norma fija pero se estima que una buena medida es la siguiente:

La dosis de desinfección que se sugerirá a la población debe ser de 5 mg/l en momentos de emergencia extrema y luego de 2 mg/l bajo condiciones menos demandantes.

En todo momento se debe aconsejar “dejar trabajar” al cloro por espacio mínimo de 30 minutos. Las diluciones que la población debe preparar a partir de la solución stock se presenta en el siguiente cuadro. Ver cuadro 8.

Cuadro N° 8. Diluciones a partir de la solución Stock

Volumen de agua a desinfectar (litros)	Volumen de solución stock (de 5.000mg/l) a agregar para obtener una concentración final de 5 mg/l	Volumen de solución stock (de 5.000 de mg/l) a agregar para obtener una concentración final de 2 mg/l
1	20 gotas = 1 ml	8 gotas
5	100 gotas = 5 ml	40 gotas = 2 ml
10	10 ml	4 ml
20	20 ml	8 ml
100	100 ml	40 ml
200	200 ml	80 ml
1.000	1 litro	400 ml

En el caso de que se disponga de tintura de yodo (que es una solución al 2%), se recomienda agregar cinco gotas por litro de agua y dejar actuar por lo menos durante 30 minutos.

Otro de los sistemas de desinfección que se puede utilizar en situaciones de emergencia son la desinfección del agua con hipoclorito de sodio producido mediante la electrolisis de la salmuera (sal + agua).

13 Bibliografía

- Galal-Gorchev, H.; *Guías de la OMS para la calidad del agua potable, y evaluación de los riesgos para la salud vinculados con los desinfectantes y los SPD*. Trabajo presentado en la Publicación OPS/ILSI “La calidad del Agua potable en América Latina” (1996).
- PAHO; *Health conditions in the Americas*. Scientific Publication No. 549. Vol I: 162-167. Pan American Health Organization, Washington DC (1994).
- Regli, S., Berger, P., Haas, C.; *Proposed decision tree for management of risks in drinking water: consideration for health and socioeconomic factors*. Trabajo en la publicación ILSI: “Safety of water disinfection: balancing chemical and microbial risks”. Washington, D.C. (1993).
- WHO; *The World health report 2000*. Publicación OMS (2000).
- Christman, K.; *Cloro*, Trabajo presentado en los Anales simposio OPS: Calidad de agua, Desinfección efectiva (1998). Publicado también en CD-Rom. Disponible en CEPIS.
- Góngora, J.; *Sistemas de desinfección por medios hidráulicos para agua potable rural. Experiencia Colombiana*, Trabajo presentado en la Publicación CEPIS “Investigación sobre Desinfección de agua en abastecimientos rurales” (1983).
- OMS/OPS; *La desinfección del agua*, Publicación OPS/HEP/99/32 (1999).
- OMS/OPS; *El agua en situaciones de emergencia*, Publicación OPS/HEP/99/34 (1999).
- OPS/ILSI; *La calidad del agua en América Latina. Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química*, ILSI Press, Washington DC (1996).
- Reiff, F.; *Disinfection practices in developing areas*; trabajo presentado en el Curso NSF sobre Desinfección de Aguas en Washington DC (1998).
- Reiff, F.; Witt, V.; *Guía para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe*; Documento OPS/OMS, Serie Técnica No. 30 (1995).
- Rojas, R., Guevara, S.; *Celdas electrolíticas para producción in situ de Hipoclorito de Sodio*; Publicación CEPIS/GTZ (1999).
- Solsona, F.; *Investigación sobre desinfección de agua para abastecimientos rurales en Argentina*, Trabajo presentado en la Publicación CEPIS “Investigación sobre Desinfección de agua en abastecimientos rurales” (1983).
- Solsona, F.; *Water disinfection for small community supplies*, Capítulo de desinfección de aguas para el manual de la IRC “Small Community Supplies” y disponible como separata en el CEPIS (2001).
- Solsona, F.; *Disinfection for small water supplies, Technical Guide*, Publicación CSIR, Sud Africa (1990).
- White, C.; *Handbook of chlorination*, Van Nostrand Reinhold (1972).
- WHO/WRC; *Disinfection of rural and small community water supplies*, (1989).

OMS/OPS/Ministerio Salud Pública Guatemala, *Inventario de tecnologías de agua y saneamiento en Guatemala, utilizadas en comunidades rurales e indígenas*. (2003).

OPS/OMS- COSUDE. *Guía de operación y mantenimiento del Hipoclorador por difusión*. CEPIS - UNATSABAR 2002.

OPS/OMS- COSUDE. *Guía de instalación y mantenimiento del Hipoclorador por goteo*. CEPIS - UNATSABAR 2003.

OPS/OMS- COSUDE. *Aplicación de la desinfección por goteo en la comunidad rural de Conchamarca, Huánuco-Perú Informe técnico*. CEPIS - UNATSABAR 2001.

SUNASS/JICA/GTZ, *Control de la calidad del agua - Curso nacional de entrenamiento en control de calidad de agua en sistemas de agua potable*. Perú (2003).

Erico Navarro, *Guía para la implementación de proyectos de agua y saneamiento en el área rural* PNUD/PAS Banco Mundial - OMS/OPS/CEPIS (1999).

Erico Navarro, *Metodologías y tecnologías apropiadas, en proyectos de saneamiento básico rural. Compendio de experiencias y evaluaciones de proyectos en Bolivia, Ecuador y Perú*. PNUD/PAS Banco Mundial - OMS/OPS/CEPIS .Bolivia 1999.

OMS Copenhague. Medmenham, Centro de Investigación de Agua "*Disinfection of rural and small-community water supplies*" (Desinfección de suministros de agua en el medio rural y en pequeñas colectividades), 1989.

MINSA Perú/APRISABAC. *Manual de procedimientos técnicos en saneamiento. Serie de 4.4. Saneamiento básico rural*. Perú 1999.

OPS/OMS Colombia Álvarez Peralta, E, *Agua y saneamiento: Opciones prácticas para vivir mejor*. (2002).

CEPIS/OPS/OPS- EPA, *Manual del inspector: Como realizar inspecciones sanitarias en pequeños sistemas de agua*.2001.

Anexos

a.1. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de los distintos métodos que utilizan cloro y derivados

Clasificación	Equipo dosificador	Ventajas	Desventajas
	Bajo presión atmosférica, de carga constante		
Solución	Tanque con válvula de flotador	Sumamente sencillo de operar y mantener. Muy barato. Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica. Permite dosificaciones para caudales mínimos. Puede usarse en cualquier situación, excepto en pozos tubulares cerrados.	La dosificación no es muy precisa. Error de alrededor de 10%. Exige un control constante debido a la variación de las dosificaciones. El material se puede corroer.
	Tubo con orificio en flotador	Carga constante. Sumamente sencillo. Muy barato. Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica.	Según la manera en que el sistema fue construido, puede llegar a tener un error de dosificación de hasta un 20%.
	Sistema vaso/botella	Sumamente sencillo. Muy barato. Puede construirse localmente. Ideal para comunidades pequeñas. Error de dosificación menor del 10%. No necesita energía eléctrica.	Debe mantenerse limpio.
	Bajo presión positiva o negativa		
	Bomba de diafragma (positiva)	Sumamente confiable. Muy popular. Sencillo de operar. Uno de los pocos sistemas para trabajar bajo presión. Puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada hasta con 6.0 kg/cm ² .	El personal debe adiestrarse en su operación y mantenimiento. Costo intermedio a elevado para un sistema rural. Requiere energía eléctrica. Debe vigilarse. A veces hay corrosión en el rotor de la bomba debido al cloro.
	Dosificador por succión (negativa)	Muy sencillo. La solución más barata para una alimentación en tuberías presurizadas.	Requiere vigilancia y mantenimiento para evitar obstrucciones en dispositivo Venturi.
	Generador de hipoclorito de sodio <i>in situ</i>	No requiere transporte de productos clorados. Se produce <i>in situ</i> . Sencillo y fácil de operar.	Requiere de agua blanda para que no se acumulen depósitos en los electrodos. Requiere de vigilancia constante y personal entrenado para tomar precauciones de seguridad por la formación de gas cloro. Producción limitada a la capacidad del equipo
Sólido	Dosificador de erosión	Sumamente sencillo. Ideal para pequeñas comunidades. Una de las mejores soluciones para dosificación a la entrada de un tanque. No necesita energía eléctrica.	Costo intermedio. Errores de dosificación alrededor de 10%. Necesita tabletas. En algunos dosificadores las tabletas (si se producen localmente) tienen a adherirse o a formar cavernas y no caen en la cámara de disolución.

a.2. Costos relativos de los distintos sistemas de cloración.

Clasificación	Equipo dosificador	Descripción del equipo	Costos de Capital	Costo de Operación y Mantenimiento	Costo por persona por año
Solución	Bajo presión atmosférica, de carga constante				
	Tanque con válvula de flotador	Hipoclorador con válvula de flotador, el tanque de solución y las tuberías Hipoclorito de sodio por kilogramo de cloro disponible	\$50 – 80	\$2.50 - 4.60/kg	
	Tubo con orificio en flotador	Hipoclorador con orificio sumergido de carga constante, el tanque de solución y las tuberías Hipoclorito de sodio por kilogramo de cloro disponible	\$20 – 60	\$2.50 - 4.60/kg	
	Sistema vaso /botella	Tanque de solución, tuberías y dispositivo vaso/botella Hipoclorito de sodio por kilogramo de cloro disponible	\$10 – 50	\$2.50 - 4.60/kg	
	Bajo presión positiva o negativa				
	Bomba de diafragma (positiva)	Bomba de diafragma con controles eléctricos, tanque plástico para la solución y tuberías Hipoclorito de sodio por kilogramo de cloro disponible	\$700 - 1000	\$2.50 - 4.60/kg	\$1.00 - 3.00
	Dosificador por succión (negativa)	Tanque de solución, tuberías y Venturi Hipoclorito de sodio por kilogramo de cloro disponible	\$200 – 350		\$2.50 - 4.60/kg
	Solución Generador de hipoclorito de sodio in situ (*)	Celdas con regulación eléctrica	\$500 - 10000		\$0,5 - \$1,0
Sólido	Dosificador de erosión	Dispositivos dosificadores por erosión Costo de tabletas	\$150 – 400	\$3.00 – 6.00 (90')	\$3.00 – 7.00

(*) El costo de producción de hipoclorito de sodio es de \$2.50 /kg. Se puede usar el hipoclorador de flujo constante o por goteo como dosificador en sistemas de almacenamiento.

a.3. Sistemas de desinfección y puntos de aplicación.

ESTADO DEL CLORO	Soluciones cloradas			Polvo o Pasta	
Tipo de dosificación	Presión	Vacío	Descarga libre	Erosión	Difusión
Principio de funcionamiento	Inyección	Succión	Gravedad	Erosión Inmersión	Difusión flujo constante
Punto de aplicación	Línea de conducción Línea de succión Línea de impulsión		Reservorio Captación Cisterna		

a.4. Aplicabilidad del Cloro

	Cl2
<u>Efectividad</u>	
○ Bacterias	A
○ Virus	A
○ Protozoos	B
○ Helmintos	B
<u>Influencia del agua cruda en relación a</u>	
○ Ph	A
○ Turbiedad	I
○ Materia orgánica	B
Mantiene Residual de protección	SI
Posible cambios sabores y olores	SI
Rango de uso Caudales	B-I-A
Costo de Capital (equipos)	B
Costo de operación	B
Capacidad del operador	B-I
Requerimientos de productos químicos	SI
Requerimientos de energía	B

A: Alto B: Bajo I: Intermedio

a.5. Atributos de distintos equipos y dosificadores

	1	2	3	4
Sirve para corrientes de agua (canales, tubos sin presión)	SI	SI	NO	SI
Sirve para dosificar bajo presión (tuberías en carga)	NO	SI	SI	SI
Sirve para flujos intermitentes	NO	SI	SI	SI
Sirve para caudales: Bajos, Intermedios o Altos	B-I	I-A	B-I	B-I
Puede ser construido localmente por artesanos del lugar	SI	NO	SI	SI
Disponibilidad de repuestos en el lugar o en comunidades cercanas	SI	SI	NO	SI
Conocimiento del operador para mantenimiento y reparaciones: Bajo, Intermedio o Alto (B.I.A.)	B	I	B	B

A = Alto

I = Intermedio

B = Bajo

1. Dosificadores de solución (caja nivel constante; vaso/botella; tubo con orificio) (Hipoclorito de sodio)
2. Bombas dosificadoras (Hipoclorito de sodio)
3. Venturis (Hipoclorito de sodio)
4. Aparatos de Erosión (Hipoclorito de calcio)