

## **TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO.**

Arturo González H., Alejandra Martín D., Rosario Figueroa

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuahunáhuac 8532, Progreso, 62550 Jiutepec, Mor.  
Tel. (01-7) 319 42 99; e-mail argonzal@tlaloc.imta.mx

### **RESUMEN**

Se realizó estudio de sobre tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para consumo humano para comunidades rurales de la frontera norte dentro del programa "Agua Limpia en casa en municipios fronterizos" y financiado por la Fundación México Estados Unidos para la Ciencia, A. C. El estudio incluye un diagnóstico de las comunidades rurales fronterizas y la elaboración de un compendio de propuestas tecnologías. En este trabajo sólo se presenta una parte de ese compendio. Se exploró en centros de documentación nacionales e internacionales como el Centro de Consulta del Agua (IMTA, México), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias el Ambiente (CEPIS, Perú) e International Water and Sanitation Centre (IRC, Holanda), entre otros, identificando tecnologías adecuadas para pequeñas comunidades; después se propuso una tipificaron las fuentes de agua, algoritmos y esquemas de tratamiento base para selección de la tecnología.

### **ANTECEDENTES**

El Programa "Agua Limpia en Casa en Comunidades Fronterizas", se está instrumentado a nivel piloto por la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Secretaría de Salud (SSA), en localidades fronterizas de Chihuahua en donde se ha detectado un alto índice de morbi - mortalidad infantil por infecciones gastrointestinales.

El proyecto "Estudio de Evaluación del Programa Agua Limpia en Casa en Comunidades Fronterizas", está siendo coordinado por la Fundación México - Estados Unidos para la Ciencia, A. C. (FUMEC). Dentro de este estudio, se lleva a cabo el estudio de tecnologías alternativas o no convencionales para la desinfección del agua y la disposición sanitaria de las excretas. A fin de identificar las tecnologías alternativas que pueden ser aplicadas dentro de este programa, la FUMEC encargó al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la realización de dicho estudio.

## INTRODUCCION

En este documento se presentan algunas opciones tecnológicas para el tratamiento del agua de uso y consumo humano y desinfección en función de la calidad del agua. Inicia con una descripción de las aguas superficiales y subterráneas como fuentes de abastecimiento, sus problemas de calidad y los tratamientos necesarios. Especial atención se da a la desinfección porque en zonas rurales es, en muchos casos, el único tratamiento que recibe el agua de consumo y puede evitar muchas enfermedades infecciosas de carácter agudo que afectan a la población.

## RESULTADOS

### **Agua para uso y consumo humano**

Según la norma oficial mexicana “NOM 127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización”, el agua potable no debe contener contaminantes químicos o agentes infecciosos que afecten a la salud humana.

Es necesario evaluar el efecto o daño a la salud humana de los contaminantes para rechazar la fuente de agua, particularmente para sistemas de abastecimiento de comunidades pequeñas donde la elección de otra fuente de abastecimiento y las oportunidades de tratamiento son limitadas. Por ejemplo, agua subterránea con valores de hierro, manganeso o sulfatos mayores a los límites permisibles marcados en la norma de calidad de agua puede ser utilizada a pesar de sus inconvenientes de carácter organoléptico, porque el daño a la salud no es agudo ni crónico.

Existen otras sustancias que también se han fijado como parámetros de calidad por criterios estéticos y no sanitarios que también debieran removerse del agua, como los sólidos suspendidos y la materia orgánica natural. Otro parámetro contaminante que generalmente no se remueve por su complejidad de tratamiento y porque no tiene efectos directos sobre la salud, es la dureza. Estos contaminantes podrían reducirse a niveles aceptables si la comunidad o el ayuntamiento tienen capacidad técnica y económica para administrar y operar un sistema de tratamiento y además hay aceptación por parte de los usuarios. El parámetro de calidad del agua más importante que se debe vigilar y eliminar es el microbiológico, por su efecto agudo en la salud humana.

### **Aguas subterráneas**

La mayor parte del agua subterránea se origina del agua de lluvia infiltrada hasta los acuíferos después de fluir a través del subsuelo. Durante la infiltración, el agua puede cargar muchas impurezas tales como partículas orgánicas e inorgánicas, detritus de plantas y animales, microorganismos, pesticidas, fertilizantes, etc. Sin embargo, durante su recorrido por el subsuelo mejora significativamente de su calidad: las partículas suspendidas y

microorganismos se retienen por filtración natural y las sustancias orgánicas se degradan por oxidación. Por otro lado, las sales disueltas, causantes de problemas como dureza y salinidad, no se remueven e incluso, se pueden incrementar considerablemente por la disolución de minerales del subsuelo (Hofkes, 1981). Otras sustancias o elementos frecuentemente presentes en las aguas subterráneas son: sulfatos, nitratos, fierro y manganeso, arsénico y flúor.

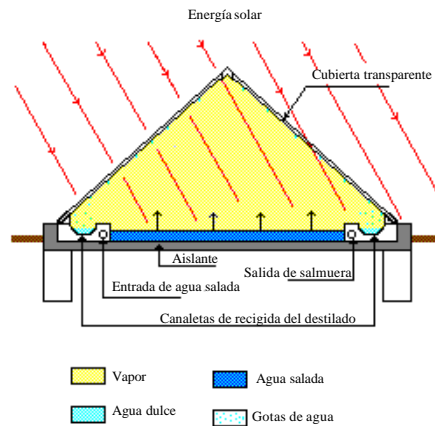
En muchos casos el agua es de buena calidad y puede usarse y beber directamente sin tratamiento, aunque siempre es preferible la desinfección como barrera de seguridad para prevenir contaminación durante el manejo del agua. Las aguas de pozos someros pueden contener contaminación microbiológica proveniente de letrinas cercanas, tanques sépticos, pastoreo de ganado o contaminación de sustancias orgánicas sintéticas de productos agroquímicos.

### *Desalación por destilación solar*

Las aguas subterráneas con altos contenidos de cloruros, sulfatos, sodio y potasio se llaman aguas salobres o saladas. Un método de tratamiento para remoción de salinidad adecuado a pequeñas comunidades es la destilación solar, que también se podría aplicar para la remoción de dureza.

Entre los diferentes tipos de destiladores para comunidades rurales se encuentran los destiladores tipo caseta y los de convección natural o tipo escalera. En México se han diseñado y probado dispositivos de tipo caseta con charolas de fibra de vidrio o metálicas y cubiertas condensadoras de vidrio a dos aguas o de una sola inclinación. En general, los destiladores son caros por inversión inicial y su bajo rendimiento comparado con las grandes superficies que utilizan.

El principio de funcionamiento es muy sencillo: la charola se llena con agua salina o salobre y por acción de la energía solar el agua se evapora; luego se condensa sobre la superficie de vidrio y finalmente el agua se conduce por canaletas hasta un pequeño depósito. (Figura 1). La base sirve para absorber un alto porcentaje de radiación solar incidente, mientras que la cubierta es transparente al espectro visible de la radiación solar para permitir el paso de ésta, y opaca a las longitudes de onda mayores (infrarrojo) para evitar la pérdida de calor por radiación del interior del destilador al ambiente. Pueden producir hasta 5 litros/día  $\cdot m^2$  cuando hay más insolación, pero su rendimiento disminuye en días nublados.



Fuente: Arreguín, et al, 1998

**Figura 1. Destilador solar tipo caseta**

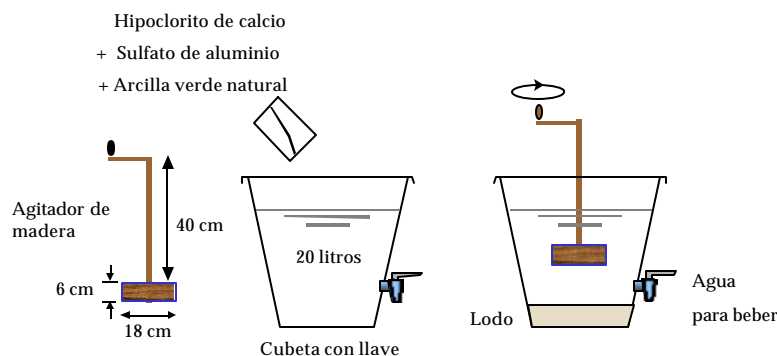
## Remoción de arsénico

En el medio rural, el tratamiento para remoción de arsénico que podría funcionar y que aún está en fase de experimentación en el IMTA, es la oxidación - coagulación - sedimentación a escala doméstica. El primer paso es oxidar el arsénico (III), contenido en las aguas subterráneas, para convertirlo en arsénico (V). Después sigue un proceso de coagulación – floculación con mezcla de coagulante y arcilla natural para finalizar con una sedimentación y/o filtración.

Durante 1999, se realizaron pruebas para el agua de pozo de Zimapán, Hgo., con diferentes arcillas naturales, coagulantes como sulfato de aluminio comercial y sulfato férrico y el hipoclorito de calcio granular al 65% de cloro activo como oxidante. Las pruebas que dieron mejores resultados se llevaron a cabo de la siguiente manera: primero, en un pequeño recipiente con agua cruda (100 ml) se agregaron el hipoclorito de calcio (0.8 mg/l) y el sulfato de aluminio granular (80mg/l), agitando hasta disolver completamente las sustancias. En la cubeta de 20 litros se adicionó la arcilla verde (10 gr) y posteriormente la solución de hipoclorito más el sulfato; después de mezclar en forma vigorosa (3 a 4 vueltas), se mezcló lentamente a razón de 14 vueltas por minuto durante 20 minutos. Seis horas de sedimentación fueron suficientes para lograr la eficiencia deseada pero se recomienda dejar reposar toda la noche. La dosis de hipoclorito es la necesaria para mantener un cloro libre residual en el agua de 0.5 ppm (Figura 2).

La eficiencia de remoción de arsénico alcanzada durante las pruebas fue hasta del 90%. Es necesario aclarar que estas pruebas dieron buen resultado con el sulfato de aluminio para aguas crudas que contenían más de 0.5 mg/l de arsénico y que además había presencia de hierro. La alcalinidad del agua, pH, turbiedad, fierro y otras sustancias pueden interferir en el proceso, por lo que es necesario determinar las dosis y condiciones de mezcla específicas para cada caso.

En el fondo del recipiente quedará un sedimento o lodo de carácter tóxico formado por todas las partículas y sustancias removidas. Si el agua no queda bien clarificada después de la sedimentación puede ser necesaria una filtración con un trapo o con filtro de arena.



IMTA, 1999

**Figura 2. Dispositivo casero para remoción de arsénico**

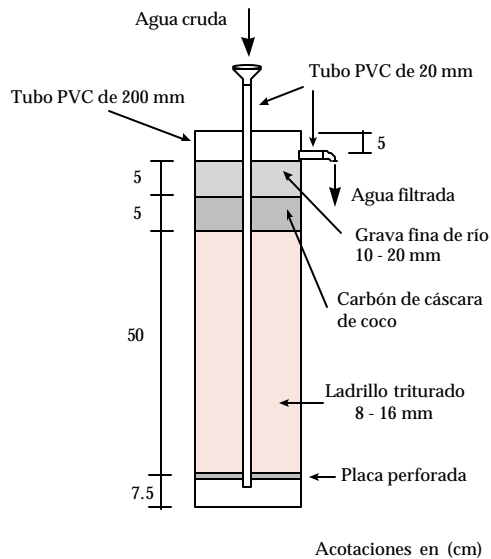
### Remoción de flúor.

En el distrito de Anuradhapura, Sri Lanka, en el año de 1994 (Padmasiri et al, 1995) se llevó a cabo un estudio de campo para remoción de flúor con filtros caseros de intercambio iónico - adsorción de bajo costo. El dispositivo consta de un cilindro de 20 cm de diámetro y 75 cm de alto. El medio filtrante es arcilla rica en hierro cocida a baja temperatura con un tamaño de grano entre 16 y 8 mm (ladrillo o tabique molido) y un espesor de lecho de 50 cm. Ésta contiene además silicatos, aluminatos y hematita. Sobre la arcilla se coloca una capa de 5 cm de espesor de carbón vegetal, como el de cáscara de coco, para remoción de olores y encima de ésta una tercera capa de 5 cm de gravilla de río con tamaño de grano entre 1 a 2 cm con el fin de mantener el lecho en su lugar. El filtro tiene una capacidad de 16 litros y trabaja con flujo ascendente intermitente y puede reducir los fluoruros en las aguas subterráneas de 4 mg/l hasta menos de 1 mg/l (Figura 3).

Cuando la arcilla se sumerge en agua por varias horas, sus minerales se convierten a oxihidróxidos de hierro, aluminio y sílice, que tienen la capacidad de intercambiar sus hidroxilos por los fluoruros contenidos en el agua. La principal característica de este filtro es que debe ser operado por lotes para dar a cada volumen de agua cruda el tiempo de contacto o retención necesario para la adsorción de los fluoruros.

Durante las pruebas en campo, los filtros se operaron de la siguiente manera: recolección de 10 litros de agua filtrada por la mañana después de un tiempo de retención de 16 horas y 5 litros por la tarde con un tiempo de retención de 8 horas. Los filtros operaron eficientemente los primeros días y en el transcurso del tiempo fueron bajando su eficiencia. La vida útil del medio filtrante es de dos a tres meses dependiendo del nivel de fluoruros en el agua cruda. Después de agotarse el material, los usuarios pueden remplazarlo por uno nuevo de manera sencilla.

Las ventajas de esta unidad son el bajo costo de fabricación, disponibilidad de medio filtrante altamente poroso en la localidad y fácil operación y mantenimiento por los usuarios.



Fuente: Adaptado de Padmasiri, 1995

**Figura 3. Filtro de arcilla cocida para eliminación de flúor**

## Aguas superficiales

Las fuentes de agua superficiales son los ríos, arroyos, lagos y presas. Su origen puede ser el agua subterránea que aflora a la superficie a través de manantiales o el agua de lluvia que fluye sobre la superficie del terreno hacia los cuerpos receptores. Si el agua superficial tiene su origen el subsuelo, ésta contendrá sólidos disueltos; el agua que escurre por la superficie contribuye a la contaminación de los ríos o lagos principalmente con turbiedad y materia orgánica (como sustancias húmicas que dan color al agua), así como con microorganismos patógenos.

Los ríos y arroyos se caracterizan por tener rápidos cambios de calidad. Durante la época de lluvias se presentan incrementos en la turbiedad y otras sustancias orgánicas e inorgánicas debido al lavado y arrastre de los suelos. En lagos y embalses, el cambio estacional en la calidad del agua es gradual y menos drástico que en los ríos. En los meses de verano el agua se estratifica creando condiciones anóxicas y reductoras en el fondo del embalse que ocasiona la solubilización del hierro y el manganeso, en caso de estar presentes en los sedimentos, creando problemas de color y sabor. Las capas superiores son susceptibles de presentar un alto crecimiento de algas cuando las condiciones de nutrientes y temperatura son favorables.

La alternativa de tratamiento de aguas superficiales que tengan problemas con turbiedad, microorganismos y materia orgánica, es la tecnología llamada Filtración en múltiples etapas (FiME), la cual consta de una filtración gruesa en gravas como pretratamiento y la filtración lenta en arena como tratamiento principal. Esta tecnología es de bajo costo, muy eficiente, sencilla y fácil de operar, adecuada para pequeñas comunidades, de aplicación tanto a escala pública

como a escala doméstica, además mejora el proceso de desinfección. En esta ocasión sólo se presentarán las tecnologías de aplicación casera.

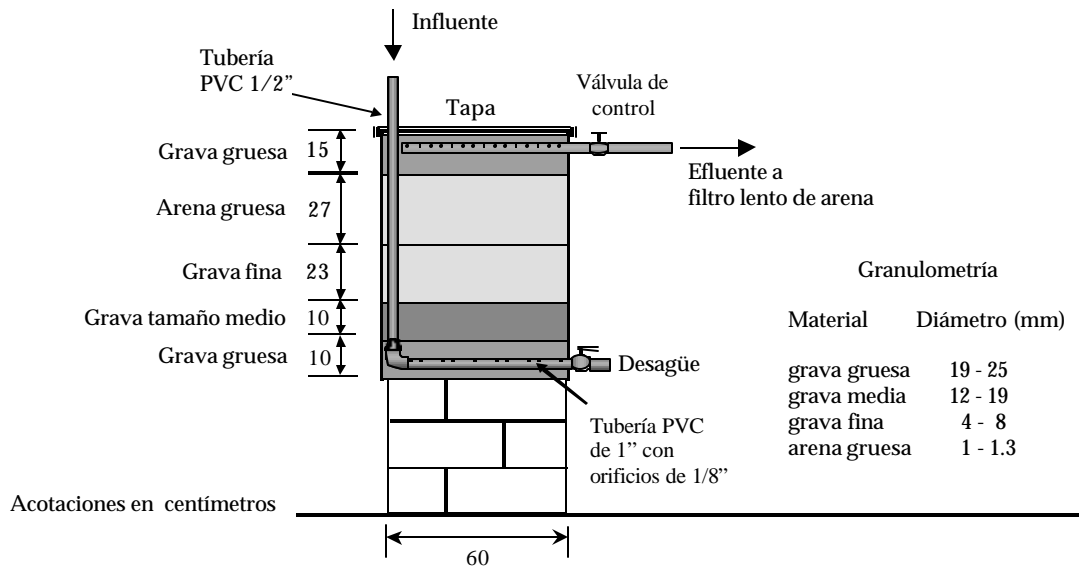
### *Filtro grueso*

La filtración gruesa contribuye principalmente a la separación de sólidos finos no retenidos en la sedimentación, pero también pueden mejorar la calidad microbiológica del agua, ya que las bacterias y virus se pueden comportar como sólidos o se adhieren a la superficie de otros sólidos suspendidos en el agua (Van Loodsrecht et al, 1990, citado por Wegelin et al, 1998). La concentración de entrada de 10 a 100 mg/l de sólidos suspendidos se puede reducir por un filtro grueso hasta 1 o 3 mg/l; el color se remueve con una eficiencia máxima cercana al 50%, lo mismo el fierro y el manganeso (Visscher et al, 1998).

Si el agua tiene una turbiedad promedio entre 30 a 70 UTN, se necesitará incorporar, antes del filtro lento, un filtro grueso de grava de flujo ascendente con tres capas de grava de diferente tamaño y una de arena. La tasa de filtración debe ser menor a 0.3 m/h (70 litros/hora). Como se aprecia en la Figura 4, el filtro tiene una llave inferior para limpieza hidráulica del lecho y desagüe.

### *Filtro lento de arena común*

La filtración lenta en arena (FLA) como etapa principal de tratamiento, juega un papel muy importante en el mejoramiento de la calidad del agua en zonas rurales y urbano marginadas, por su eficacia, facilidad de diseño y sencillez en su operación y mantenimiento. Los filtros lentos de arena reducen drásticamente el número de virus (total), bacterias (99 - 99.9%), protozoarios o huevos de nemátodos (hasta 99.99%) dañinos para la salud (Visscher et al, 1998, Van Dijk, 1978). La turbiedad del efluente en un filtro bien diseñado y operado puede llegar a 1 UTN. La remoción de carbono orgánico biodegradable se logra hasta en un 50% (Wegelin et al, 1998), y se lleva a cabo por la actividad biológica que se genera en los lechos. El color real se remueve hasta en un 60% con ayuda de preoxidación. El fierro se puede reducir del 30 al 90%, pero los filtros se colmatan rápido si el contenido de fierro es mayor a 1 mg/l por lo que es necesario empacar el filtro con un grano de arena más grande (~0.5 mm) que el normal (T.E. 0.3 mm). Con el fin de alcanzar largas carreras de filtración, el agua que alimenta los filtros debe tener turbiedades promedio menores a 10 UTN, logradas con ayuda de los filtros gruesos.



Adaptado de IRC, 1993

**Figura 4. Filtro grueso en capas de flujo ascendente para pretratamiento**

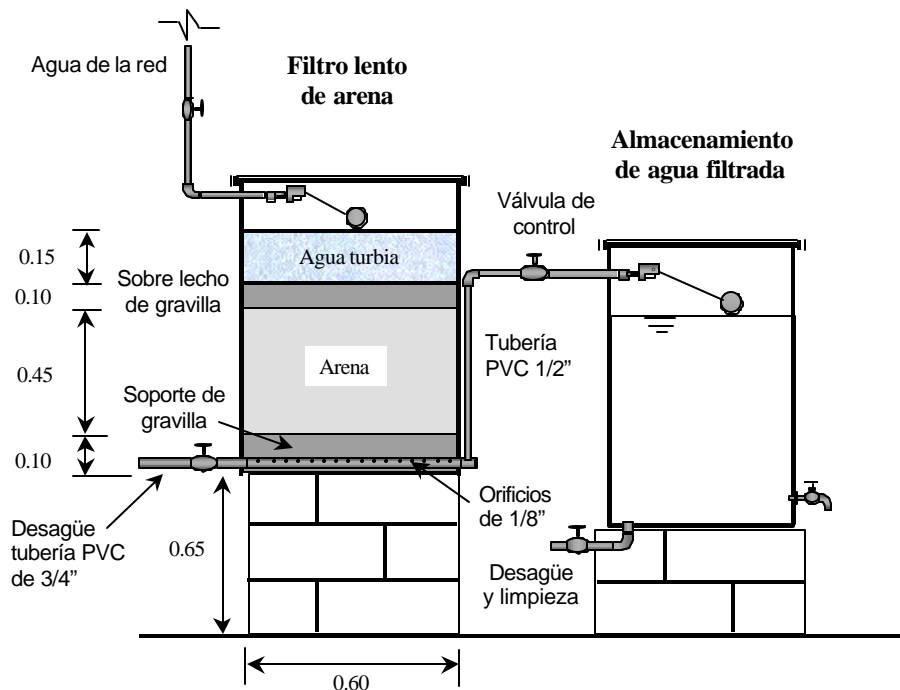
Una gran variedad de microorganismos (bacterias, protozoarios, algas, hongos, microcrustáceos y nemátodos) forman una delgada capa biológica sobre la superficie del lecho de arena (20 mm), la cual es en gran medida responsable del mejoramiento de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua.

El filtro de arena consta de un tambo de lámina o plástico de 200 litros, empacado con una capa de arena fina y una o dos capas soporte de grava graduada. Opcionalmente puede llevar una capa intermedia de carbón vegetal. Además requiere tubería de PVC o galvanizada, conexiones y un par de llaves (ver Figura 5). Trabaja a flujo descendente. La biocapa del lecho de arena necesita agua y alimento continuo y la arena debe mantenerse húmeda, por lo tanto, el filtro debe preferentemente funcionar sin interrupción. La tasa de filtración debe ser constante en la medida de lo posible y dentro del rango de 0.01 a 0.1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-hr

Cuando la turbiedad sea mayor a 10 UTN pero menor a 30, es conveniente colocar un lecho de gravilla sobre una malla o charola perforada que actúe como prefiltro encima de la arena. La prefiltración gruesa previene que el filtro lento se obstruya en corto tiempo, ayudando a mejorar la calidad del agua filtrada.

Estos filtros lentos de arena caseros pueden proporcionar de 2.5 a 25 litros por hora de agua filtrada, razón por lo cual se debe almacenar en tanques para tener una reserva. Si el filtro trabajara las 24 horas del día, la producción sería tal que a cada miembro de una familia de 5 personas le corresponderían hasta 120 litros diarios de agua de buena calidad para todo uso.





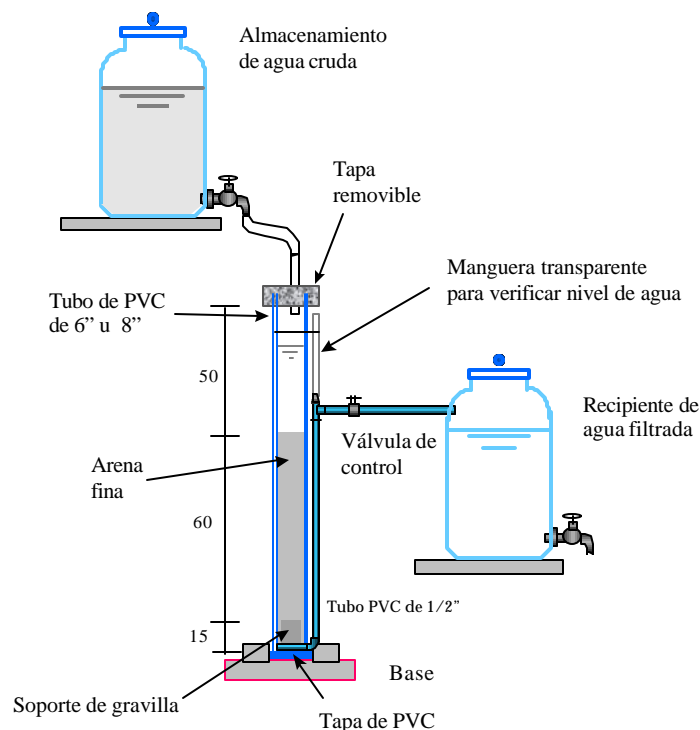
IMTA, 1999

**Figura 5. Filtro lento de arena tipo casero**

### Filtros de diseño hindú

Este dispositivo aplica los principios de la filtración lenta en arena, para satisfacer las necesidades de una familia de 5 integrantes, con una dotación de agua de hasta 40 l/día per capita trabajando las 24 horas del día. Puede funcionar durante el día para cubrir las necesidades de agua para bebida y preparación de alimentos.

Se compone de una tubo de PVC de 6" u 8" de diámetro, un tanque de almacenamiento de agua cruda y otro de agua tratada, manguera, tubería de PVC de 1/2", válvulas y conexiones (Figura 6). El tubo se empaqueta con grava como material de soporte y arena fina en la parte superior, como material filtrante. El tanque de almacenamiento de agua cruda se coloca a un nivel más alto que la unidad de filtración, de tal manera que por gravedad se hace pasar el agua a través de la arena. El flujo se controla con una válvula antes de la unidad de filtración. El filtrado se almacena en un segundo depósito, a menor nivel. La conexión entre el filtro y el tanque de agua tratada debe ser de tal manera que mantenga un nivel mínimo en el filtro, por arriba del material filtrante. Cuando el lecho se colmata de tal manera que provoca una pérdida de carga máxima (aumenta el nivel del agua sobrenadante), se retira la tapa removible y se extraen de 10 a 20 mm de arena de la parte superior.



Adaptado de Vigneswaran, 1983

**Figura 6. Filtro lento de arena de diseño hindú**

El depósito de agua cruda debe almacenar cerca de 50 litros para que pueda surtir el agua de un día. El recipiente de agua filtrada debe tener capacidad para almacenar la demanda de dos días (más de 80 litros). El material puede ser plástico o barro y contendrá una llave para servir el agua y evitar la contaminación por la introducción de tazas o vasos dentro del agua purificada.

### Desinfección del agua en el área rural

En la América Latina y el Caribe, las enfermedades diarreicas representan un grave problema de salud pública, encontrándose entre las primeras cinco causas de defunción en menores de un año, y en muchos casos son la primera causa en niños de uno a cuatro años (OPS/OMS, 1995).

La desinfección del agua podría evitar que ésta sea un vehículo para la transmisión de enfermedades como el cólera, hepatitis infecciosa, poliomielitis, fiebres tifoidea y paratifoidea, amibiasis, balantidiasis, campilobacteriosis, enteritis causada por rotavirus, y diarrea causada por cepas patógenas de *E. coli*.

La desinfección de los sistemas de abastecimiento de agua comunitarios sigue siendo una de las medidas de salud pública más importantes que se puedan tomar para impedir brotes y epidemias de enfermedades (OPS/OMS, 1995). Existen varias opciones tecnológicas de

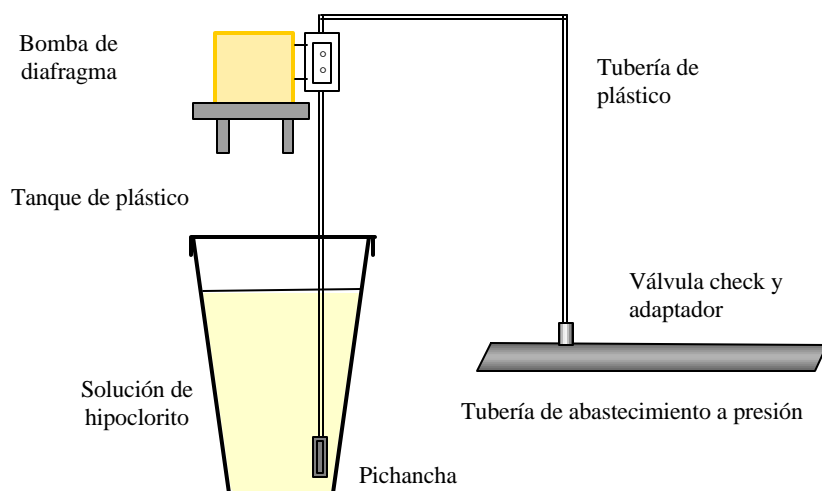
desinfección entre las que se incluyen: cloración, ozonización, yodación, radiación solar y ultravioleta. Respecto a la cloración, hay diversos métodos como gas cloro, los hipocloritos de calcio y sodio, cloraminas y algunos métodos para la generación de desinfectantes *in situ*. En la actualidad la tecnología de desinfección de mayor uso en Latinoamérica y el Caribe es la cloración.

El cloro gas y los hipocloritos forman ácido hipocloroso al disociarse en el agua, que puede penetrar en la pared de las células bacterianas destruyendo su integridad y permeabilidad y, al reaccionar con grupos sulfhídricos, inactiva las enzimas esenciales para el metabolismo, matando el microorganismo

### *Bomba dosificadora de hipoclorito*

Este tipo de clorador emplea una bomba de diafragma de desplazamiento positivo. El diafragma flexible, hecho de material resistente a los efectos, bombea la solución de hipoclorito hacia el punto de aplicación en la tubería de agua. Dos válvulas de retención, una en el extremo de succión y la otra en el extremo de descarga, aseguran el flujo unidireccional de la solución de hipoclorito.

Dependiendo de la concentración de la solución y la dosificación del cloro deseada, pueden desinfectarse flujos de agua de hasta un litro/segundo. Una ventaja principal de este tipo de dispositivo de dosificación sobre la mayoría de otros hipocloradores es que puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada hasta con  $6.0 \text{ kg/cm}^2$ .

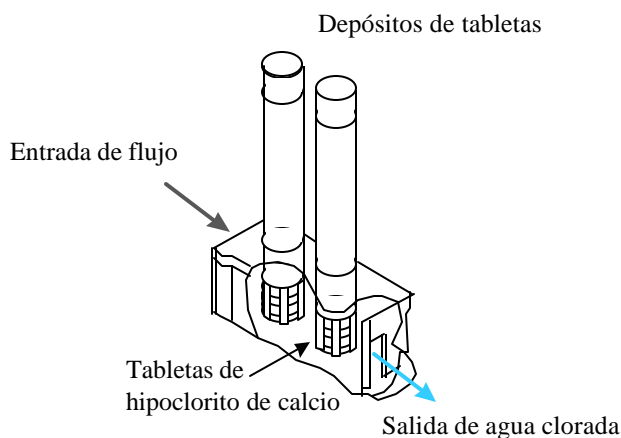


Adaptado de OPS/OMS, 1995.

**Figura 7. Hipoclorador de diafragma de desplazamiento positivo**

### *Dosificadores de hipoclorito por erosión de tabletas*

Este dispositivo está compuesto de uno o dos cilindros que en su interior contienen tabletas apiladas de hipoclorito de calcio acomodadas encima de un plato tipo tamiz (Figura 8). El cloro se va solubilizando en el agua a medida que el flujo erosiona las tabletas. La descarga de este dispositivo es una solución de agua clorada concentrada que luego debe pasar a un tanque, a una cámara de contacto o a un canal abierto, según el caso. Estos dispositivos de dosificación son de costo relativamente bajo y duraderos ya que generalmente están hechos de materiales no corrosivos y no tienen partes móviles. La capacidad de algunos dosificadores pequeños va de 0.02 a 0.2 kg de cloro/hora.



Adaptado de OPS/OMS, 1995

**Figura 8. Dosificador de Cloro por erosión de tabletas de hipoclorito de calcio**

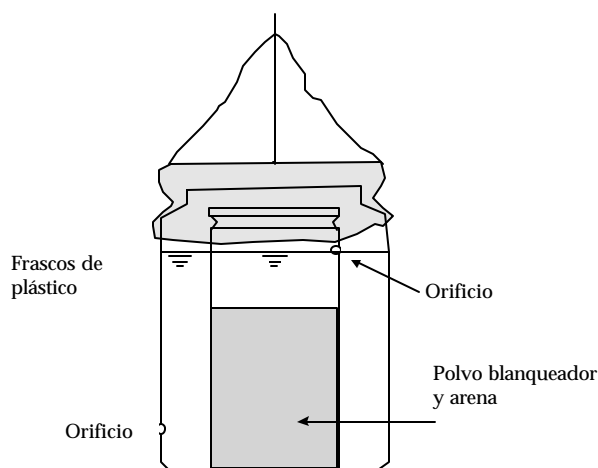
### *Dosificadores de hipoclorito por difusión*

Un clorador por difusión es un dispositivo en el que se mezclan hipoclorito de calcio en polvo con arena para que la difusión de cloro en el agua sea gradual. Hay difusores de varios tipos, entre los cuales están las ollas de barro (Figura 9) y los dispositivos de plástico, que pueden ser de una o dos botellas (Figura 10). La cantidad de arena y cloro que se agregue al recipiente dependerá: del volumen que tenga el pozo o tanque de almacenamiento de agua y del gasto por día, que es función del número de habitantes que se abastecen del depósito. Estos dispositivos cloradores se pueden utilizar en cualquier comunidad rural, pues sus implementos son de fácil adquisición y su construcción muy sencilla

### *Hipoclorador por gravedad*

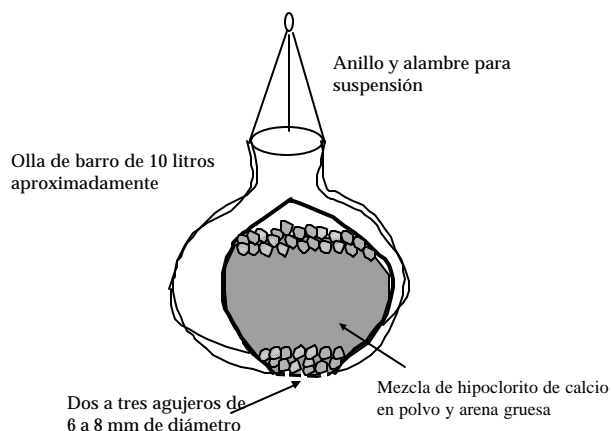
Estos dispositivos sirven para dosificar en forma constante soluciones de hipoclorito de sodio o de calcio por gravedad. El dosificador de orificio consta de los siguientes elementos: un recipiente plástico resistente a la corrosión de 200 litros de capacidad; un flotador de tubo PVC

de 2" de diámetro; un tubo de 3/4" con orificios acoplado al flotador; una manguera flexible con contrapesos para la conducción de la solución; un tubo PVC de 1/2" para la descarga del hipoclorito; y una válvula para desagüe y limpieza del depósito (Figura 11).



Fuente: Hofkes, 1981

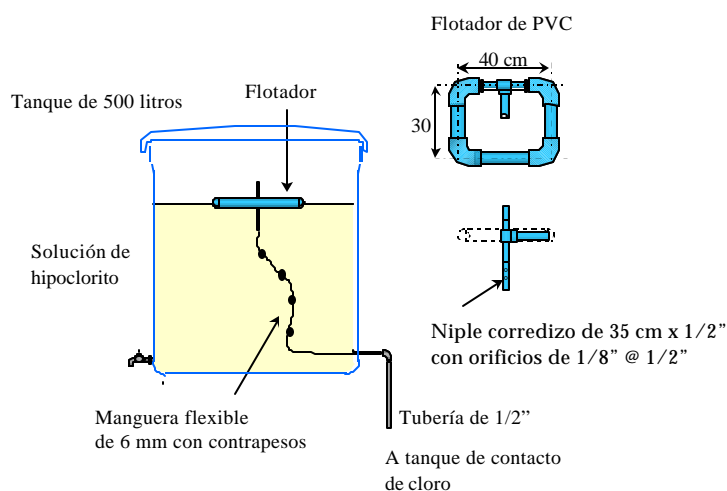
**Figura 9. Difusor de cloro de doble envase de plástico para pozos y tanques**



Fuente: Hofkes, 1981

**Figura 10. Difusor de cloro de olla para pozos y tanques de almacenamiento**

La dosificación se puede regular de acuerdo a la profundidad de inmersión y al número de orificios. Estos hipocloradores son suficientemente exactos. Se pueden construir por gente de la comunidad con materiales de fácil adquisición. La solución de hipoclorito de calcio no debe ser mayor al 3% para evitar que se formen precipitados que tapen los orificios.



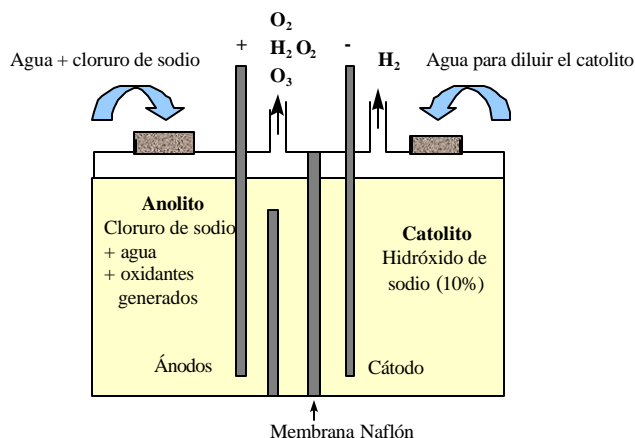
Adaptado de OPS/OMS, 1995

**Figura 11. Hipoclorador de carga constante para desinfección en tanques**

## Equipo MOGOD

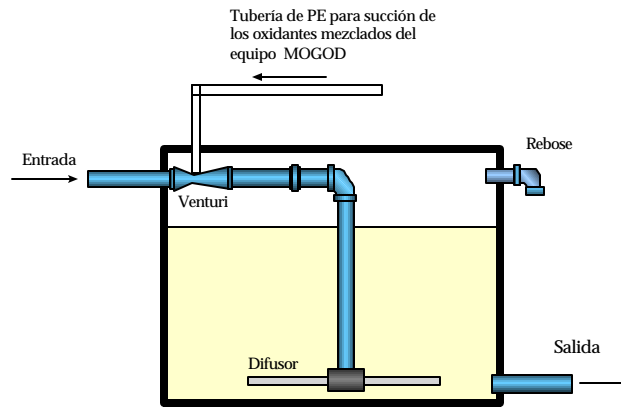
El MOGOD (Mixed Oxidant Gases Generated On site for Desinfection) genera *in situ* una mezcla de especies de oxígeno y de cloro, mediante la electrólisis de una solución de cloruro de sodio, que actúan como oxidantes y desinfectantes. Las especies de oxígeno incluyen peróxido de hidrógeno, ozono y oxidantes fuertes efímeros no identificados con precisión. Las especies de cloro incluyen el ion de hipoclorito, ácido hipocloroso y algo de dióxido de cloro. El MOGOD produce un residual más estable en el sistema de distribución que el cloro (CEPIS, 1995). La celda electrolítica del MOGOD está dividida en dos compartimentos (uno para el ánodo y otro para el cátodo), por una membrana semipermeable de un copolímero perfluorinado para el intercambio de cationes (Nafión). Los ánodos son de titanio recubierto de óxidos de iridio y/o platino como el TIR-2,000 de ELTECH, de una aleación de metales del grupo VIII, o los hechos de grafito especial. El cátodo es de acero inoxidable 440 (Figura 12).

En el compartimento del ánodo se mantiene una solución saturada de cloruro de sodio añadiendo agua y un exceso de cloruro de sodio para generar las especies de oxígeno y cloro. En el compartimento del cátodo se genera hidróxido de sodio que se debe mantener a menos de 10% añadiéndole agua para diluirla y extrayendo el líquido excedente. La mezcla de gases oxidantes se inyecta en la línea de agua mediante un Venturi (Figura 13), el gas hidrógeno se escapa a la atmósfera y el excedente de la solución de hidróxido de sodio se puede emplear para otro uso.



Adaptado de OPS/OMS, 1995

**Figura 12. Celda electrolítica típica de MOGOD**



Adaptado de OPS/OMS, 1995

**Figura 13. Instalación de un MOGGOD conectado a un Venturi**

### *Desinfección solar*

Este proceso de desinfección se usa a escala casera para purificar pequeñas cantidades de agua. Una temperatura por encima de 50°C incrementa considerablemente la inactivación de los microorganismos. El efecto temperatura - radiación aumenta la eficiencia del proceso. Es un método muy sencillo, económico y seguro cuando los niveles de radiación están por arriba de los 500 watts/m<sup>2</sup>. En días totalmente nublados (radiación alrededor de 200 watts/m<sup>2</sup>), no se asegura la eliminación de las bacterias.

En pruebas efectuadas en el Instituto Mexicano de tecnología del Agua, se logró una eficiencia del 99.999% en la remoción de coliformes totales después de cuatro horas de exposición en bolsas de plástico, y del 99.99% en botellas de plástico de dos litros después de seis horas de exposición en un día soleado (746 watts/m<sup>2</sup> de radiación promedio) . Las bolsas de plástico, aunque más efectivas, son menos prácticas de manejar y más fáciles de recontaminar (Figura 14). Los resultados también mostraron que la desinfección solar es efectiva con agua turbia, pero se requieren tiempos de exposición y radiación elevados. Sin embargo, se recomienda que antes de la desinfección el agua se filtre para eliminar la turbiedad.

Las botellas perfectamente limpias llenas con el agua a tratar se colocan acostadas sobre un fondo negro o plateado y se exponen a la luz directa del sol durante 4 o 6 horas, de preferencia entre las 10 de la mañana y las 4 de la tarde. Se debe buscar un lugar despejado que no reciba sombra durante el proceso, puede ser el centro del patio, el techo de la casa, etc. Pueden utilizarse botellas de plástico desechables de bebidas embotelladas, que si se manejan con cuidado para evitar que se rayen, es posible que duren varios meses. Las botellas deberán colocarse horizontalmente o de preferencia ligeramente inclinadas hacia donde se encuentra el sol a las 12 horas.



IMTA, 2000

**Figura 14. Desinfección solar de agua en bolsas y botellas de polietileno**

## **CONCLUSIONES**

La selección de los procesos de tratamiento para atender las exigencias de carácter microbiológico y fisicoquímico sólo pueden efectuarse después de un estudio cuidadoso y detallado de la fuente y la cuenca hidrográfica, que incluya la caracterización del agua e identificación de fuentes potenciales de contaminación.

Las tecnologías de tratamiento para localidades rurales del país deben tener requerimientos técnicos (mano de obra, instalaciones, insumos energéticos, reactivos químicos, operación y mantenimiento) y económicos (costos de inversión, operación y mantenimiento) acordes a la capacidad de la comunidad y al nivel de apoyo de instituciones regionales responsables del agua y la salud. Además, se debe involucrar a la comunidad en la planeación, selección, diseño, construcción, administración, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento para que éstos sean apropiados y sustentables.

En general, los hipocloritos de sodio o calcio son los desinfectantes más económicos y de uso frecuente en localidades rurales. El cloro es un bactericida y virucida eficaz en la mayoría de las situaciones y proporciona un residual que puede medirse fácilmente. La desventaja principal, es el rechazo de los consumidores por el sabor que deja en el agua sobretodo cuando en el agua hay presencia de sustancias orgánicas.

La desinfección por radiación solar en botella de plástico es un proceso de fácil aplicación a escala doméstica y que asegura la calidad bacteriológica del agua de consumo, además, ha sido bien aceptada en los lugares donde se ha probado.



## BIBLIOGRAFÍA

1. González Herrera A., Figueroa Brito R., 1999; "Evaluación de tecnologías alternativas tanto para el tratamiento y desinfección del agua de consumo como para el tratamiento de excretas y aguas residuales en pequeñas localidades de la frontera norte", Informe fina para Fundación México Estados Unidos para la Ciencia, A. C., Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 115 pp.
2. IRC, 1993; "Consultancy on small water treatment systems in UNICEF's –integrated area- based programme in Ukwaludhi, Nambia", International Water and Sanitation Centre, IRC, Holanda, caps. 15 y 17.
3. Hofkes E. H., 1981; "Small Community Water Supplies. Technology of Small Water Supply Systems in Developing Countries" International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation, Holanda, caps. 15 y 17.
4. Martín Domínguez A., Flores Ordeñana L. M., González Herrera A., Ramírez Angulo V., Martín Domínguez I. R., Cortés Muñoz J. E., Lero de Tejada Brito A. A., Sandoval Villasana A. M., 2000; "Remoción de material orgánico disuelto, Desinfección no convencional e Impacto de ésta en la salud humana", Informe final en edición, proyecto Conacyt, Instituto mexicano de Tecnología del Agua, México.
5. Pamasiri, J. P., et al, 1995; "Low cost fluoride removal by upward flow household filter", Sri Lanka, Water Supply, vol. 13, Nos.3/4, Osaka, 59 – 64 pp.
6. Van Dijk J.C., 1978; "Filtración Lenta en Arena para Abastecimiento Público de Agua en Países en Desarrollo", Manual de Diseño y Construcción. Documento técnico 11, Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua de la OMS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 12 - 68 pp.
7. Vigneswaran S. Et al, 1983; "Environmental sanitation reviews. Water filtration technology for development countries", Environmental Sanitation Information Center, Asian Institute of Technology, ENSIC, THAILAND, PP 110.
8. Visscher J. T., et al, 1992; "Filtración Lenta en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades" Documento técnico 24, International Water and Sanitation Center (IRC), Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua (Cinara), Cali, Colombia, 4 -31 pp.
9. Wegelin M., Galvis G., Latorre J., 1998; "La filtración Gruesa en el Tratamiento de Agua de Fuentes Superficiales", Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico (Cinara). Publicación SANDEC No. 4/98, caps. 3, 4, 5 y 8.