

## 4

# Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones

*María Teresa Leal Ascencio*

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col Progreso, Jiutepec, Morelos, México, correo electrónico: tereleal@tlaloc.imta.mx.

### 1. Introducción

En la Visión Mundial del Agua para 2025 que fue dada a conocer en el Segundo Foro Mundial del Agua de La Haya, Holanda se establece «Todo ser humano debe tener acceso seguro al agua para satisfacer sus necesidades de consumo, saneamiento y producción de alimentos y de energía, a un costo razonable. El abastecimiento del agua para la satisfacción de estas necesidades básicas debe realizarse en armonía con la naturaleza» [1] (Ver también Capítulo 1).

El agua es indispensable para la vida y es necesario poner a disposición de los consumidores un abastecimiento satisfactorio, haciendo todo lo posible para obtener la mejor calidad que la tecnología permita. El primer objetivo es proteger al agua de la contaminación, lo que se obtiene mediante la protección de la fuente de abastecimiento, antes que la remoción de contaminantes del agua para hacerla apta para consumo [2].

En el ámbito doméstico, el agua que se usa es potable, esto es, apta para consumo humano. Sin embargo, el agua es utilizada en otras actividades como el lavado de ropa, de aceras y autos, aseo personal y de hogares, así como cocinar. Finalmente, para beber se destinan sólo 800 litros por persona al año, mientras que el consumo para todo uso *per cápita* anual puede ascender a entre diez y mil veces más.

Para ser apta para consumo humano el agua requiere de una serie de tratamientos que se establecen acordes a su calidad inicial. La fuente de abastecimiento y las circunstancias en el sitio en particular son lo que definirán la calidad del agua de dicha fuente, las dificultades que tendrán que enfrentarse para hacerla potable y las complejidades de los tratamientos que se deberán aplicar para convertirla en inocua (una de las características principales que debe cumplir el agua para ser considerada apta para consumo humano). Puede decirse que, en general, el agua subterránea es de mejor calidad y requiere menos tratamiento para su uso puesto que no acarrea sedimentos suspendidos, mientras que el agua superficial, por esa razón, requiere de

tratamientos diferentes y más complejos para la remoción de esos sólidos suspendidos y sustancias asociadas.

El primer paso para potabilizar agua es determinar la calidad inicial del agua en la fuente de abastecimiento, lo que permitirá diseñar el tratamiento necesario. Es posible que el agua contenga metales, materia orgánica disuelta o particulada, color, sabor y olor desagradables, bacterias, virus, parásitos y otros microorganismos, grandes cantidades de calcio y magnesio, hierro y manganeso, carbonatos, bicarbonatos, cloruros o sulfatos en exceso, sustancias orgánicas de toxicidad elevada, etc. La lista puede ser muy larga y sin embargo, son pocas las sustancias cuya presencia se verifica en el agua para consumo [3].

Existen tratamientos físicos, químicos, biológicos y combinaciones de ellos para la potabilización. Todos los tratamientos tienen limitaciones y tanto sus ventajas como sus limitaciones son los que definen sus campos de aplicación. En este capítulo se presentan aquellos tratamientos que pueden competir con un proceso de fotocátalisis para el tratamiento de agua para consumo humano. A través del análisis de sus ventajas y limitaciones se definirán los casos en los que la fotocátalisis puede resultar una alternativa más exitosa.

## **2. Filtración convencional**

En el caso de que la fuente de abastecimiento de agua es una fuente de agua subterránea, el suelo a través del cual pasa ésta en el acuífero actúa como un filtro natural que remueve la mayor parte de los sedimentos suspendidos acarreados por la lluvia. Para el caso de las aguas superficiales, es necesaria la filtración convencional que puede ser efectuada como primer paso en el tratamiento o hasta después de una serie de procesos. Los métodos de filtración pueden ser a través de filtros de arena rápidos o lentos, filtros de tierras diatomáceas, filtración directa o filtración empacada.

Los procesos convencionales de filtración están precedidos por coagulación, floculación y sedimentación. Sin embargo, puede ser que el agua se someta a filtración directamente después de la coagulación y floculación y que los flóculos sean removidos directamente por los filtros. La filtración es una combinación de procesos químicos y físicos. La filtración mecánica remueve las partículas suspendidas porque las atrapa entre los granos del medio filtrante (por ejemplo, arena). La adhesión juega un papel importante dado que parte del material suspendido se adherirá a la superficie de los granos filtrantes o a material previamente depositado.

Existen diversos sistemas de filtración, como son: filtros lentos de arena, filtros de tierras diatomáceas, filtros directos, filtros empacados, filtros de membrana y filtros de cartuchos.

### **2.1. Filtros de arena**

En el primer caso, los filtros consisten de camas de arena fina de un metro de grosor sobre una cama de grava de 30 cm de altura y un sistema de drenado. En el caso de los filtros lentos de arena, también son importantes los procesos biológicos, ya que los filtros forman una película delgada de microorganismos quienes atrapan y

destruyen algas, bacterias y materia orgánica, incluso antes de que el agua llegue a los filtros propiamente dichos. Sus ventajas residen en que son de bajo costo, confiables, pueden remover algunos microorganismos hasta en 99,9% y la operación y control del proceso son muy sencillas. Sus limitaciones principales son que no pueden remover turbiedades elevadas y que requieren de grandes superficies pues se operan bajo velocidades pequeñas [4].

## **2.2. Filtros de tierras diatomáceas**

Los filtros de tierras diatomáceas o filtros de diatomitas forman una capa de medio centímetro de altura en un filtro puesto a presión o al vacío. Este filtro es muy adecuado cuando el agua presenta conteos bajos de bacterias y poca turbiedad (menor a 10 unidades nefelométricas de turbiedad), lo que representa sus principales limitantes, así como que es potencialmente difícil mantener el grosor de la capa de tierra diatomácea en el interior de los filtros.

Cuando se cuenta con filtros directos, el agua es procesada directamente de la fuente con coagulantes para aumentar la retención de material, pero no incluye una etapa de sedimentación. En ese caso, la remoción de virus puede llegar a ser de 90 a 99%. Este proceso se usa a presión para mantener la presión en la línea y evitar el rebombeo después de la filtración. Este sistema es aplicable sólo en sitios donde el agua posee una alta calidad y la turbiedad no se incrementa más allá de 10 unidades y un color máximo de alrededor de 30 unidades.

## **2.3. Filtros empacados**

Los filtros empacados contienen todas las etapas de la filtración montadas en una unidad: adición de reactivos, floculación, sedimentación y filtración. Se utiliza mucho para tratar agua superficial para la remoción de turbiedad, color y organismos coliformes. Sus ventajas residen en el tamaño compacto de las plantas, efectividad de costo / beneficio, relativa facilidad de uso y operación. Su principal desventaja es que si la turbiedad del influente varía mucho con respecto al tiempo, es necesario que el operador esté atento a ello y tenga la suficiente capacitación para responder a los cambios de calidad del agua entrante.

En todas las variedades de sistemas de filtración antes mencionadas, las ventajas de estos sistemas es la sencillez del manejo, la eficiencia en remoción de partículas suspendidas y hasta el 90% de la flora bacteriana que lleve el agua. Las principales desventajas que presentan es que no retienen sustancias orgánicas o metales disueltos en el agua y requieren áreas grandes para la filtración [5].

## **2.4. Filtros de carbón activado**

Los filtros de carbón activado son utilizados cuando se desean remover malos olores, sabores o color desagradable del agua, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón. El carbón activado tiene una gran área superficial y por lo tanto alta capacidad de adsorción de compuestos, que quedan adheridos a la superficie del mismo.

Estos filtros son económicos, fáciles de mantener y operar, por lo que su uso es muy común. Entre las limitaciones que presentan es que deben recibir

mantenimiento frecuente y periódico para evitar obstrucción de tuberías. Es difícil percibir cuándo un filtro ha dejado de funcionar adecuadamente, por lo que una de sus limitaciones es que pueden haber dejado de funcionar y que el usuario no se haya percatado de ello. Otras limitaciones están relacionadas a que no remueven bacterias, metales, nitratos, pero principalmente que generan un residuo- el carbón ya saturado- que no es de fácil disposición, especialmente si el agua contiene compuestos orgánicos tóxicos que son retenidos en el filtro de carbón activado [6].

### 3. Desinfección

Debido a que la presencia de microorganismos patógenos en agua genera, las más de las veces, problemas agudos, se da mucho énfasis en la desinfección del agua, una vez que ésta es químicamente apta para el consumo humano.

La desinfección mata o inactiva organismos causantes de enfermedades, mas la efectividad de la desinfección se juzga por la capacidad de controlar a los organismos indicadores que son las bacterias coliformes totales y fecales. Estos organismos son inocuos al ser humano, pero su presencia indica que organismos patógenos pueden estar presentes o haber sobrevivido la desinfección (ver Capítulo 2).

Como sustancias viables para la desinfección existen el cloro (por medio de cloro gas, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio), cloramina y ozono; también se usa la irradiación con luz ultravioleta de baja longitud de onda [4].

#### 3.1. Cloro

La cloración se efectúa con cloro gas o una sustancia que libere este gas, una vez que se encuentra en el agua. En el primer caso el cloro gas a presión normal es un gas verde-amarillento y sumamente tóxico. Es muy efectivo para remover casi todos los patógenos microbianos y apropiado para desinfección en plantas de tratamiento, tanto como para la desinfección secundaria, en la red de distribución. El cloro gas se distribuye en forma de líquido a presión en tanques y es inyectado en el agua a través de un orificio de Venturi, para que el cloro pase rápidamente al agua y se mezcle. Se requiere un tiempo de contacto entre el cloro y el agua para asegurar la desinfección y controlar al mismo tiempo el pH del agua. El manejo del cloro gas es complicado y merece mucha atención y medidas de seguridad adicionales, como equipos autónomos de respiración que deben estar disponibles en la cercanía de la instalación.

Otra forma de clorar es a través de hipoclorito de sodio o de calcio que están en forma líquida o sólida, respectivamente. Ambas son muy corrosivas y con un fuerte olor a cloro, por lo que el almacenamiento debe ser adecuado para evitar daños por corrosión. En el caso del hipoclorito de sodio reacciona en forma espontánea con el aire y no debería ser almacenado por más de un mes pues pierde su efectividad. El hipoclorito de calcio, por el contrario, es muy estable y puede ser almacenado hasta un año.

Adicionalmente puede generarse hipoclorito de sodio *in situ* por electrólisis al hacer reaccionar sal común y agua. Como subproducto de la reacción se genera

hidrógeno, que debe ser dispersado del sitio en forma segura, dada la explosividad inherente a este gas. La calidad de los reactivos debe cumplir ciertos estándares pues son añadidos al agua para consumo humano y por lo tanto deben estar libre de sustancias tóxicas [6].

Otra limitante adicional del cloro es la generación de subproductos halogenados que se producen cuando el cloro reacciona con la materia orgánica contenida en el agua, proveniente aquélla de las sustancias húmicas o fúlvicas del suelo [7]. La formación de estas sustancias halogenadas dependen del tipo y concentración de la materia orgánica presente cuando se añade el cloro, la dosis de cloro, la temperatura y pH del agua, así como el tiempo de reacción. Los productos generados pueden ser diversos pero los más importantes se conocen como trihalometanos, de comprobada toxicidad al ser humano [2]. Otro factor importante que aumenta la presencia de subproductos halogenados es la recloración dentro del sistema de distribución [8].

### 3.2. Cloramina

La cloramina se forma cuando se añade cloro al agua que contiene amoníaco o cuando se añade amoníaco a agua que contiene cloro. Esta sustancia es un bactericida efectivo y genera menos subproductos que el uso de cloro. Sus limitaciones provienen de que tiene un poder desinfectante menor que el del cloro y de que dentro de las reacciones posteriores puede generarse tricloruro de nitrógeno que tiene sabor y olor desagradables. Es apropiado para prevenir el recrecimiento en el sistema de distribución, propiamente dicho. Por lo general, se aplica cloro gas en el sistema, seguido de amoníaco gas o hidróxido de amonio, tras un mezclado adecuado y tiempo de contacto suficiente, la desinfección es efectiva.

Para la generación de la cloramina puede ser usado como fuente de cloro el gas cloro puro; como fuente de amoníaco puede ser utilizado solución gaseosa anhidra de amoníaco, hidróxido de amonio u otros compuestos químicos como sulfato de amonio [6].

### 3.3. Ozono

El ozono es una forma alótropa del oxígeno que tiene tres átomos en cada molécula, en lugar de la forma usual de dos átomos. Es un oxidante poderoso y agente desinfectante. Se forma a partir del oxígeno del aire, que pasa a través de un sistema de electrodos de alto voltaje.

Las ventajas principales del ozono se deben a que requiere de tiempos de contacto y dosis menores que el cloro, por lo que ha sustituido al cloro en plantas altamente tecnificadas. Por regla general, el ozono no produce subproductos halogenados, a menos que el agua contenga bromuros.

Debido a la inestabilidad de la molécula de ozono, el gas debe ser generado *in situ* y ser utilizado de inmediato. Los voltajes elevados que se manejan en los equipos los hacen técnicamente complejos en su mantenimiento y operación y caros en su costo de operación. Adicionalmente, tiene la desventaja de que el ozono no mantiene un poder desinfectante residual en el agua, una vez terminada la aplicación.

Una variedad de la aplicación anterior, es la generación de ozono a partir de oxígeno puro, no de aire. Esta variedad es ventajosa desde el punto de vista de los costos, pues el costo de energía, que es el más importante, disminuye. Asimismo, el ozono generado tiene una mayor densidad, tanto que puede verse duplicada la cantidad de ozono generado por unidad de volumen. Al tener el ozono una mayor concentración, se desinfectan iguales volúmenes de agua con menores volúmenes de ozono [6].

### **3.4. Luz ultravioleta**

La radiación ultravioleta se genera con una lámpara especial. Cuando la radiación penetra la pared celular de un organismo, el material genético es modificado y la célula es incapaz de reproducirse.

La luz ultravioleta destruye virus y bacterias, sin embargo, como en el caso del ozono, es necesario del uso posterior de cloro, para prevenir el recrecimiento de bacterias. La luz ultravioleta provee un método de operación y mantenimiento sencillo, es útil con tiempos cortos de contacto y no genera residuos tóxicos o subproductos.

Entre sus principales limitaciones se encuentran su incapacidad de inactivar protozoarios, y su ineficiencia para tratar aguas turbias con sólidos suspendidos, color o materia orgánica soluble. En estos casos la radiación será absorbida por estas sustancias y la desinfección se verá seriamente limitada. La efectividad de la radiación ultravioleta con vías a desinfectar agua depende de la dosis absorbida por los organismos, en función de la intensidad de la lámpara utilizada y el tiempo de exposición. Si la dosis no es suficiente, el material genético puede verse dañado pero no destruido, lo que permitirá el recrecimiento bacteriano una vez que cese el tratamiento [5].

## **4. Filtración por membranas**

Una alternativa a la filtración convencional la ofrecen los filtros de membrana que consisten en materiales finos capaces de separar sustancias cuando una presión es aplicada a través de ellos. La filtración por cartuchos es un proceso físico en el cual el agua se hace pasar a través de una membrana con poros de tamaño variable, que puede estar entre 0,2 y 1,0 micrómetros.

La exigencia mundial de disponer de agua de mayor calidad ha favorecido el desarrollo de la tecnología de membranas, dado que estos procesos tienen una capacidad excelente de separación de sustancias disueltas y se han desarrollado productos que corresponden a ultra-, nano- y micro- filtración.

### **4.1. Micro filtración**

La separación por membrana micrométrica contiene poros de aproximadamente 0,03 a 10  $\mu\text{m}$ , retiene pesos moleculares mayores a 100.000 daltons y usa presiones de influente relativamente bajas, como 100 a 400 kPa. Generalmente es capaz de remover material particulado como arena, arcilla, *Giardia*, *Cryptosporidium*, algas y algunas especies bacterianas. No retiene virus pero tiene cierta capacidad de remoción de compuestos orgánicos lo que

reduce el potencial de descomposición de la membrana, problema común con esta tecnología.

Los filtros son pequeños, pueden ser operados en forma automática y son efectivos para remoción de material particulado, bacterias y materia orgánica natural, que llegan a impartir color, sabor y olor desagradable al agua. Existen varios tipos de membrana como la espiral, tubular y de fibra capilar hueca, siendo más usadas las dos últimas porque permiten un lavado automático de la membrana.

Para aumentar la vida media de las membranas se pueden incluir pre-filtros o usar carbón activado o coagulantes como pretratamientos. Estos filtros son fáciles de operar y mantener cuando se tienen índices bajos de turbiedad. En caso de que la turbiedad sea elevada, los filtros se descomponen rápidamente y será necesario el reemplazo en el corto plazo, por lo que con frecuencia se hace uso de desinfectantes químicos para prevenir la descomposición y el lavado periódico de la membrana.

El lavado de la membrana se realiza a contra flujo haciendo pasar agua o aire a presión a través de la membrana para remover los sólidos acumulados en la superficie de la membrana misma.

El uso de desinfectantes químicos después de la filtración implica que se podrán generar subproductos de la cloración, mencionados con anterioridad [4, 5].

La micro filtración se usa también como pretratamiento en la potabilización por ósmosis inversa o por nano filtración.

#### **4.2. Ultra filtración**

La ultra filtración se realiza por medio de membrana de tamaño de poro aproximado entre 0,002 y 0,1  $\mu\text{m}$  y ejercicio de presión para que el agua atraviese la membrana. Con este tamaño de poro pueden retenerse moléculas con pesos moleculares mayores a 10.000 daltons y se opera a presiones que oscilan entre 200 y 700 kPa. La ultra filtración impide el paso de bacterias y la mayoría de los virus, pero es permeable a algunos tipos de virus y de materia disuelta, como sustancias húmicas. Se recomienda la desinfección con cloro después de la ultra filtración.

Este tipo de procesos puede ser completamente automatizado, no requiere el uso de compuestos químicos, produce un agua de calidad buena y constante y es de manejo sencillo. El costo de inversión y operación no es bajo pues se renueva continuamente la membrana.

La mayor parte del material coloidal, especies de alto peso molecular, material particulado, especies orgánicas e inorgánicas son retenidos en estas membranas. De las especies biológicas se retienen protozoarios, bacterias y la mayoría de los virus conocidos. En cuanto a especies metálicas como quelatos de hierro y manganeso requieren un proceso previo de separación para evitar la descomposición de la membrana.

Las membranas para ultrafiltración se fabrican en forma tubular o de hojas planas con las que se elaboran los filtros.

La ultrafiltración está limitada por el proceso de descomposición de la membrana, ya mencionado en relación a la micro filtración, y por el costo relativamente elevado [6,9].

### 4.3. Nanofiltración

Las membranas de nanofiltración poseen un tamaño de poro aún menor a las anteriores, de 0,001  $\mu\text{m}$ . En ellas se retienen moléculas de peso molecular mayor a 1.000 daltons. Las presiones a las que deben trabajar estas membranas son sensiblemente mayores que las anteriores y usualmente pueden estar entre 600 kPa y 1.000 kPa. Pueden remover virtualmente todo tipo de bacterias, virus, quistes y material disuelto húmico. Dado el bajo contenido de materia orgánica presente después de la nanofiltración, no se generan subproductos de la cloración, si se añade esta sustancia para impartirle un efecto desinfectante residual al agua.

Dado que se remueve una gran cantidad de sustancias disueltas en el agua, incluso alcalinidad (carbonatos y bicarbonatos), el agua adquiere características corrosivas una vez tratada por este proceso por lo que generalmente se requiere la adición de algún álcali para reducir este problema.

La presión elevada a la que se maneja el agua genera altos costos de energía y esto ha provocado un uso muy limitado de esta tecnología [6,9].

### 4.4. Ósmosis inversa

Este proceso, también conocido como hiperfiltración, se basa en el uso de una membrana semipermeable que permite el paso de agua, mas no de iones disueltos. La membrana tiene poros menores a 10 Å (1 nm). El agua es sujeta a una alta presión que la obliga a pasar a través de la membrana; todas las sales disueltas permanecen en una solución que se concentra de sales, motivo por el cual se le conoce como salmuera o agua de rechazo o retrolavado.

La proporción de volumen entre el agua de rechazo y el agua producida da una idea de la eficiencia del sistema. Si bien la ósmosis inversa puede remover prácticamente cualquier contaminante orgánico o inorgánico del agua, tiene como desventaja los altos costos de capital y de operación necesarios, el manejo del agua de rechazo puede convertirse en un problema pues los contaminantes se concentran en ésta, los pretratamientos son indispensables, las membranas tienen la tendencia a descomponerse y el agua de rechazo puede llegar a ser 25 a 50% del caudal de alimentación, lo que significa un gran desperdicio de agua [5, 6].

Todas estas tecnologías compiten de cierta manera con la fotocatalisis, cuya efectividad se centra en dos áreas principales: la desinfección y la remoción de compuestos orgánicos. En la tabla siguiente se presenta una descripción de las capacidades y limitaciones de las tecnologías mencionadas. Como se observa, los métodos convencionales de filtración son de manejo sencillo, costos moderados y eficiencias medias. Por otro lado, los métodos de filtración por membranas son de manejo más complicado, con costos elevados y eficiencias altas. Las limitaciones se indican en cada rubro pero en general puede decirse que se agrupan en la generación de residuos que pueden llegar a considerarse residuos peligrosos, descomposición de las membranas por presencia de bacterias, desperdicio de agua por la generación de salmuera o agua de rechazo y recrecimiento de bacterias.

Tabla 1. Tecnologías convencionales de potabilización de agua y sus limitaciones

	Tecnología	Aplicación	Manejo	Costo	Limitantes
Filtración convencional	Filtros de arena	Sedimentos suspendidos, remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo, costo elevado de terreno	Remoción de 80-90% de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie
	Filtros de tierras diatomáceas	Remoción de turbiedad y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión y de manejo	Útiles en caso de poca turbiedad y bajos conteos bacterianos, no retiene materia orgánica
	Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión, costo medio de mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro, no remueve bacterias ni nitrato
Desinfección	Cloro	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo bajo de inversión y medio de mantenimiento	Generación de subproductos
	Cloramina	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo medio de inversión y de mantenimiento	Poder desinfectante limitado
	Ozono	Desinfección	Manejo complejo	Costo elevado de operación	Escaso poder residual
	Luz ultravioleta	Desinfección	Operación y mantenimiento sencillo	Costo medio de inversión y de operación	No previene recrecimiento, no genera poder residual
Filtros de membrana	Microfiltración	Remoción de sólidos disueltos algunas especies bacterianas	Operación sencilla	Costo moderado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
	Ultrafiltración	Remueve virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Costo elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
	Nanofiltración	Remueve virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, automatización posible	Costo muy elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
	Ósmosis inversa	Remueve virus, bacterias, parásitos y materia orgánica e inorgánica		Costo muy elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana, requiere manejo de salmuera

Adaptado de [1, 4 y 5].

Queda por describir en otros capítulos las ventajas que la fotocatalisis ofrece ante estas tecnologías. Someramente, puede decirse que se tendrán ventajas en los costos, en la potabilización del agua sin generación de agua de rechazo o retrolavado, no hay materiales que puedan descomponerse, ni hay recrecimiento bacteriano, lo que se demostrará a lo largo de este libro.

#### Referencias

- [1]. W.J. Cosgrove. y F.R. Rijsberman, *World Water Vision-Making Water Everybody's Business*, World Water Council, La Haya, Holanda, (2000).
- [2]. Organización Mundial de la Salud, *Guías para la calidad del agua potable*, Ginebra, 1, 195, (1995).
- [3]. American Water Works Association y American Society of Civil Engineers, *Water Treatment Plant Design*, McGraw-Hill, Nueva York, (1998).
- [4]. Environmental Protection Agency, *Technologies for Upgrading existing or designing new drinking water treatment facilities*, EPA/625/4-89/023, 209, (1989).
- [5]. Environmental Protection Agency, *Environmental pollution control alternatives: Drinking water treatment for small communities*, EPA/625/5-90/025, 82, (1990).
- [6]. Environmental Protection Agency, *Small systems compliance technology list for the surface water treatment rule and total Coliform*, EPA/815/R/98/001, 82, (1998).
- [7]. N.M. Ram, R.F. Christman y K.P. Cantor, *Significance and treatment of volatile organic compounds in water supplies*, Lewis Publishers, USA, (1990).
- [8]. M.T. Leal, E.R. Bandala, S. Gelover y S. Pérez, *Trihalometanos en agua para consumo humano*, *Ingeniería Hidráulica en México*, XIV(3), 29-35, (1999).
- [9]. J.G. Jacangelo, J.M. Laine, E.W. Cummings, A. Deutschmann, J. Mallevalle y M.R. Wiesner, *Evaluation of Ultrafiltration membrane pretreatment and nanofiltration of surface waters*, American Water Works Association y AWWA Research Foundation, Denver, (1994).