



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

“PROCESOS DE DESINFECCIÓN DEL AGUA EN PLANTAS PURIFICADORAS.”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER ÉL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

JUAN MANUEL JUÁREZ ROMAN

DIRECTOR DE TESIS: QFB Esperanza Robles Valderrama.

LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MÉXICO

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias.

A mis padres: Don Cuco y Doña Esperanza.

Por haberme dado el don de la vida. Por su apoyo incondicional y siempre cuidarme. Por ser la inspiración de seguir adelante día a día en mi vida personal y profesional, pues gracias a sus muchos esfuerzos hoy termino una de las etapas más importantes de mi vida.

A Mis hermanos: Sergio Armando, Miguel Ángel, Carlos Alejandro.

Por su apoyo y ayuda y el cariño de hermanos, por todos esos momentos que hemos compartido.

A Mis abuelos: Juan Juárez, Benjamín Román, Julia González, Teresa Rosales.

Por su gran cariño, amor y comprensión.

A mis Tías y Tíos, Primos. Sobrinos y toda mi familia

por la paciencia y el cariño

A Karla J. A.

Por alentarme en momentos desesperados y difíciles, ayudarme cuando muchos no extendieron su mano, por inspirarme a seguir adelante y hacer realidad de este trabajo. y terminar juntos el sueño que hemos tenido varios años. Gracias por todo tu amor, respeto y cariño.

Agradecimientos.

A Dios.

Haberme dado esta segunda oportunidad de terminar esta etapa y seguirmívida

A Esperanza Robles Valderrama

Por haberme dado la oportunidad y apoyarme en la realización de este trabajo.

Jurado y Sinodales

Víctor Rivera Aguilar, Esperanza Robles Valderrama, Elizabeth Ramírez flores, Blanca N. Martínez Rodríguez, María Guadalupe Sainz Morales.

Por su tiempo y sabios consejos.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Por abrirme sus puertas y brindarme sus conocimientos.

A mis amigos

Pedro C., Pedro J. Y Familia, Jethro, Víctor M., Andréy Adrián Z., Carlos Mz., Irma y Familia., Carlos (Loco), Mariana, Armando (Padrino). Robert, Jabo. Osvaldo. Fernando C., Ricardo V., Israel F., Oscar V., Juan Carlos, Guadalupe M., Andres, Toño, Maru, Miguel, Sonía, Nelly y Jorge, Sergio, Oscar, Javier, Carlos, Maricela, Edgar, Familia Acosta, Familia Jiménez, Susana, Mariana, Gen, Claudio, y a todos aquellos que me brindaron incondicionalmente su amistad, pero que desgraciadamente no he mencionado por que no acabaría, pero no por eso son menos importantes.

A todos ustedes. Gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO.

1. INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.1. CICLO HIDROLÓGICO	¡Error! Marcador no definido.
1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA.....	¡Error! Marcador no definido.
1.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA.....	¡Error! Marcador no definido.
2. PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL AGUA	¡Error! Marcador no definido.
2.1. CONTAMINACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.1 Bacterias	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2. Protozoarios	¡Error! Marcador no definido.
2.2.3. Virus.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4. Otros patógenos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5. Epidemiología.	¡Error! Marcador no definido.
2.3. PROCESOS DE DESINFECCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3. JUSTIFICACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
4. OBJETIVOS	¡Error! Marcador no definido.
5. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DESINFECCIÓN.	¡Error! Marcador no definido.
5.1.1. Agentes No Oxidantes.....	¡Error! Marcador no definido.
5.1.2. Agentes Oxidantes.....	¡Error! Marcador no definido.
5.1.2.1. Biocidas Clorados.....	¡Error! Marcador no definido.
5.1.2.2. Otros Biocidas:	¡Error! Marcador no definido.
5.2. OZONIZACIÓN.	¡Error! Marcador no definido.
5.3. LUZ ULTRAVIOLETA.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4. FILTRACIÓN.	¡Error! Marcador no definido.
5.4.1. Filtro De Arena.....	¡Error! Marcador no definido.
5.4.2. Filtro De Carbón Activado.....	¡Error! Marcador no definido.
5.5. SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA (SOI).....	¡Error! Marcador no definido.
6. COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN EN UNA PLANTA MODELO. .	¡Error! Marcador no definido.
8. DISCUSIÓN	¡Error! Marcador no definido.
8.1. NORMATIVIDAD.....	¡Error! Marcador no definido.
8.2.1 Desinfectantes.	¡Error! Marcador no definido.
8.2.2 Resistencia a desinfectantes.....	¡Error! Marcador no definido.
8.2.3 Ozono.....	¡Error! Marcador no definido.
8.2.4 Luz U. V.	¡Error! Marcador no definido.
8.2.5 Filtración.....	¡Error! Marcador no definido.
8.2.6 Barrera múltiple.	¡Error! Marcador no definido.
8.3. CONTAMINANTES NO BIOLÓGICOS.....	¡Error! Marcador no definido.
9. CONCLUSIONES	¡Error! Marcador no definido.
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Figuras

- Figura 1. Distribución porcentual del agua en el planeta **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 2 Esquema del ciclo hidrológico, **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 3. Estructura molecular del agua (Izquierda) formación de puentes de hidrógeno (Derecha).
..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 4. Espectro electromagnético y de luz U. V..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Fuente: Millipore, 2001 **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 5. Tamaños de partículas suspendidas, microorganismos en el agua y los métodos separativos adecuados. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 6. Filtro de arena. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 7 Microfotografía de gránulos de carbón activado (Izquierda) poros del carbón (centro) y esquema donde representa la adsorción dentro del grano de carbón activado (derecha)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 8. Diferentes tipos de filtros cartucho, filtros nominales (Izquierda), Filtros absolutos (Derecha).
..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 9 Difusión sin barreras. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 10. Difusión a través de una membrana..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 11 Fenómeno de la Ósmosis Natural. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 12. Fenómeno de Ósmosis Inversa. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 13 Esquema simplificado del proceso de ósmosis inversa en un SOI **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 14 Estructura porosa de una membrana (corte transversal)..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 15 Tipo de membranas (Izquierda) Estructura de una membrana espiral ... **¡Error! Marcador no definido.**

Índice de tablas

- Tabla 1 Contaminantes del agua natural **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 2. Enfermedades hidrotransmisibles por microorganismos patógenos **¡Error! Marcador no definido.**
- Tabla 3: Patógenos más comunes transmitidos por el agua potable. **¡Error! Marcador no definido.**

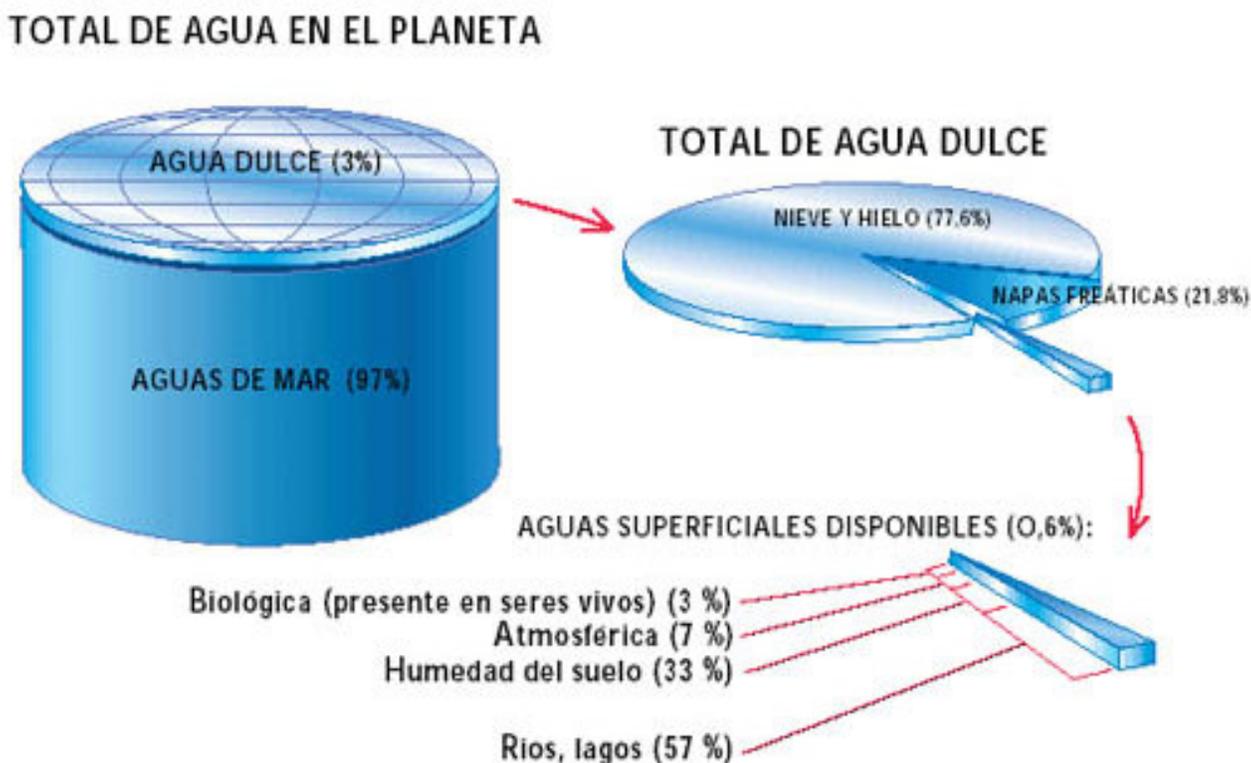
ABREVIATURAS.

°C	Grados Celsius
ADN	Ácido desoxirribonucleico
ANSI	American National Standard Institute
ARN	Ácido Ribonucleico
ATP	Adenosin Trifosfato
Bq/l	Becquerel por Litro
BTU/lb	Unidades Térmicas Británicas Por Libra
Cl ₂	Cloro
DWTU	Drinking Water Treatment Units
EPA (USEPA)	Environmental Protection Agency Unit States
FDA	Food And Drug Administration
Fe.	Fierro
g	Gramo
gpm	Galones Por Minuto
HAA's	Ácidos Haloacéticos
H ₂ O	Agua
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
H ₂ S	Sulfuro de Hidrógeno.
HCl	Ácido Clorhídrico
Hg	Mercurio
HOCl	Ácido Hipocloroso
Hp	Caballos de Fuerza
Hrs.	Horas
Kg	Kilogramo
l	Litro(s)
m	Metro
mg	Miligramo
min	Minuto(s)
mJ/cm ²	Milijoules por Centímetro Cuadrado
mm	Milímetros
mm Hg	Milímetros de Mercurio
Mn	Manganeso
N.D.	No Detectado
NMP	Numero mas probable
ηm	Nanómetro
No esp.	No Especificado
No. Detec.	No Detectable
NSF	National Science Foundation

O ₃	Ozono
PDO	Punto de Entrada
PDU	Punto de Uso
PH	Potencial de Hidrógeno
ppb	Partes por Billón
ppm	Partes por Millón
psi	Libras
S.O.I.	Sistema de Ósmosis Inversa
SDT	Sólidos Totales Disueltos
seg	Segundo(s)
THS	Triometanos
TiO ₂	Oxido de Tinatio
U. V.	Ultra Violeta
UFC	Unidades Formadoras De Colonias
UPt-Co	Unidades en Escala Platino Cobalto
URL	Unidades Relativas de Luz
UTN	Unidades de Turbiedad Nefelométricas
NOM	Norma Oficial Mexicana
λ	Longitud de Onda
μ	Micra
μg	Microgramo
μs	Microsiemens
μWseg/cm ²	Microwatt por Segundo por Centímetro Cuadrado

1. INTRODUCCIÓN

Es paradójico que más del 70 % de la superficie terrestre sea agua, y sin embargo, se carece de ella en muchas partes del mundo en forma potable. Esto debido a que en su mayoría es agua salada (por cada 100 l de agua hay 3,5 Kg de sales minerales) quedando tan solo un 3 % de agua dulce (Figura 1), que se encuentra en lagos, ríos, manantiales y aguas subterráneas a diversas profundidades. La calidad de esta es afectada por la lluvia, la erosión del suelo, desechos naturales y en algunos casos por gases como metano y el sulfuro de hidrógeno (Gemex, 1984).



Nota : Los porcentajes señalados son aproximados.

Figura 1. Distribución porcentual del agua en el planeta

A un mayor crecimiento de la población, el agua dulce es susceptible de contaminarse con desperdicios industriales, pesticidas, excretas, aceites y toda una gama de impurezas indeseables, por lo que actualmente el agua como material único e insustituible para la vida humana, requiere de tratamientos a nivel de grandes plantas potabilizadoras (Mundet, 1994). Sin embargo el riesgo para la salud aun persiste, ya que en los ductos de abastecimiento, tratamiento y distribución, existen puntos donde el producto se puede contaminar, así como en los tinacos y demás instalaciones de los usuarios, si a esto añadimos que en algunos países en vías de desarrollo el agua potable de la red municipal no es de buena calidad y en

muchas partes del mundo no se cuenta con ella, los riesgos de contraer alguna infección por el consumo de agua contaminada son muy altos (Gemex, 1984; Ibáñez, 2000).

1.1. CICLO HIDROLÓGICO

Las aguas naturales siempre contienen impurezas, incluso las aguas provenientes de la lluvia que teóricamente son puras, ya que el proceso de la evaporación es un proceso purificador, pero cuando el agua cae, durante su recorrido la gota de agua acarrea los contaminantes (polvo, bacterias, virus, humo, etc.) que se encuentran suspendidos en el aire (Mundet, 1994).

El ciclo que el agua sigue es como un gigantesco aparato de destilación que comienza con la evaporación provocada por el calor y el viento, ya sea en la superficie de los lagos, mares, océanos, bosques, selvas, así como de la transpiración de los seres vivos, etc., esta evaporación consiste en el arrastre de partículas pequeñas de agua hacia la atmósfera alcanzando grandes altitudes, acumulándose en grandes masas de estas partículas que al unirse a otras forman una nube, que cuando son alcanzadas por corrientes de aire frío, sufren una condensación mayor, provocando la precipitación en forma de lluvia, granizo o nieve según la temperatura del viento frío, mas cuando el agua desciende hasta la superficie terrestre, absorbe en su trayectoria algunos de los gases que se encuentra en la atmósfera, esta agua esta saturada de oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbón y en general es ligeramente ácida ($\text{pH} < 6$) esta acidez puede aumentar si atraviesa aire contaminado con óxidos de azufre y nitrógenos, característicos de zonas industriales.

Si la lluvia cae directamente sobre lagos o mares, allí se cierra el ciclo volviendo a evaporarse, pero si cae sobre la superficie terrestre, el agua empezara, en parte a correr sobre ella, llegando a formar ríos que desembocan en grandes depósitos del suelo erosionando y arrastrando consigo materia orgánica proveniente de hojas, hierbas o desechos que se encuentran en la superficie, lo que de inmediato la contamina, otra parte del agua se trasmina atravesando las capas permeables de diferentes composiciones que se encuentra a su paso, sin embargo en su travesía por las diferentes capas, va perdiendo esa contaminación pero va reaccionando con los diferentes minerales que se encuentra a su paso y por lo tanto aumenta el contenido de sales disueltas. (Figura 2).

La composición química del agua refleja ampliamente la naturaleza del territorio geológico del cual ha sido obtenida. Se obtiene agua dura de áreas en las que abunda la tierra caliza o yeso, agua alcalina donde existen depósitos de carbonatos y así sucesivamente acontece con un extenso grupo de sustancias minerales o metálicas (Marrevo, 1992; Sutto, 1994).

Si las aguas subterráneas permanecen mucho tiempo en contacto con la Calcita (CO_3Ca) o la Dolomita (CO_3CaMg), provocará el aumento en calcio, magnesio y bicarbonatos. Los aluminosilicatos aumentaran la concentración de sodio, magnesio, calcio y ácido silícico. Estas aguas subterráneas forman los mantos freáticos, los cuales llegan a tener gran tamaño, el agua contenida en ellos vuelve a salir a la superficie como manantiales, ríos subterráneos, ojos de agua, oasis, géiseres, etc., (Figura 2), donde nuevamente comienza el ciclo (Sánchez, 1990; Sutto, 1994).

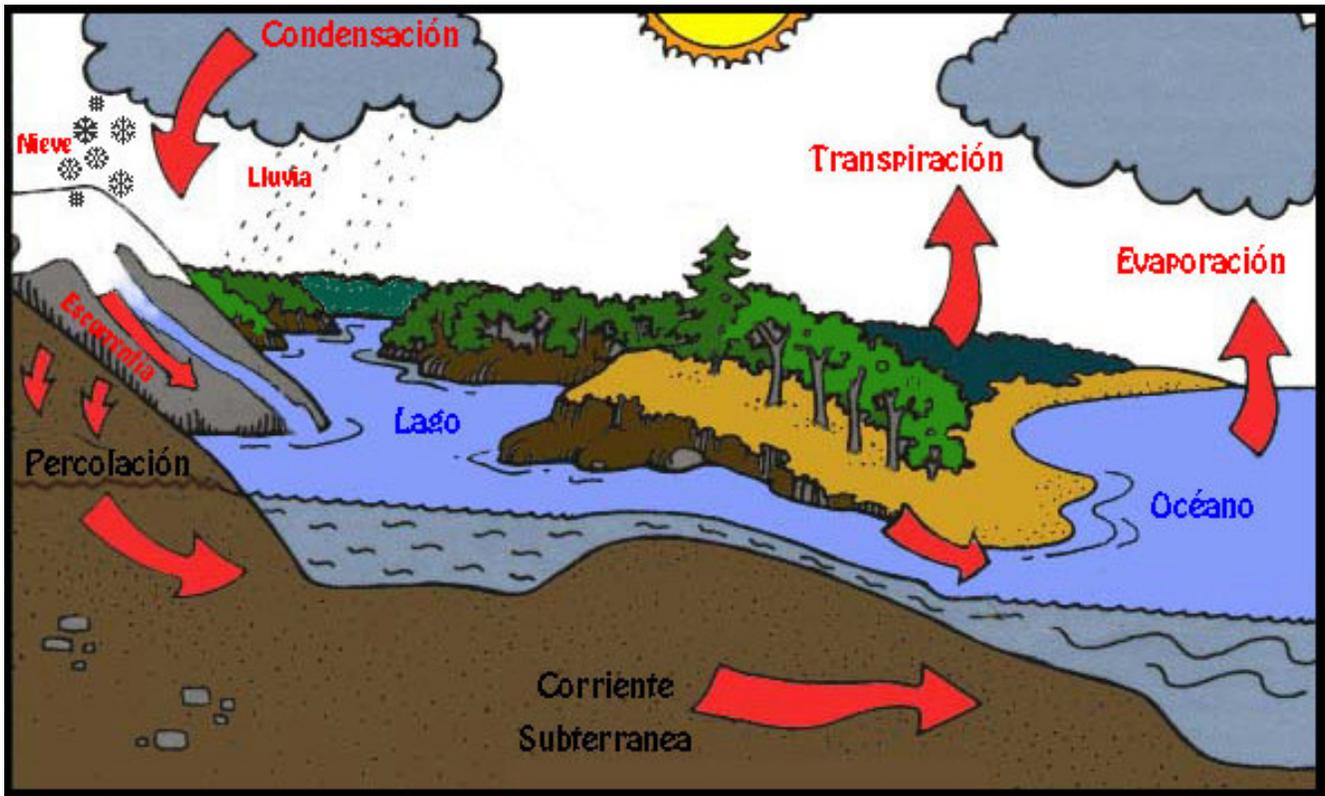


Figura 2 Esquema del ciclo hidrológico,

1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA.

El agua posee una serie de propiedades que juegan un papel importante en la naturaleza, el agua pura no tiene sabor (insípida), color (incolora), olor (inodora). Tiene un matiz azul que se puede detectar en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica de 760 mm Hg el agua hierve a 100°C y el punto de ebullición se eleva a 374°, que es la presión crítica a que corresponde la presión de 217.5 atmósferas, en todo caso el calor de vaporización asciende a 539 calorías /gramo a 100°, el punto de congelación del agua es de 0 °C, a 4°C de temperatura y una atmósfera de presión tiene una densidad de 1g/cm³, a una temperatura de 20°C tiene una tensión superficial de 72.76 dyn/cm y una viscosidad dinámica de 0.01 g/cm³. se puede encontrar en la naturaleza en estado sólido, líquido y gaseoso (vapor) y es uno de los solventes más comunes es decir, diversos materiales se disuelven en el agua, por lo cual se conoce como el solvente universal (Choppin y Summerlin, 1993). Esto ocasiona que el agua natural sea muy susceptible a contaminarse con sales de calcio, sodio, magnesio, bicarbonatos, sílice, sulfatos, cloruros, hierro y manganeso principalmente, también por materia orgánica como una gran variedad de microorganismos los cuales incluyen bacterias, virus, protozoos, algas, etc. De ahí, la importancia de su purificación y desinfección para poder ser consumida con seguridad por el hombre (Gemex, 1984).

El agua es fuente de vida, toda la vida depende de ella. En el hombre constituye un 70% del volumen corporal. Necesitamos agua para lubricar los ojos, para respirar, para desintoxicarnos, para mantener nuestra temperatura constante y una infinidad mas de funciones vitales (Sutto, 1994).

1.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA

La fórmula del agua (H_2O), por sí misma, únicamente indica su composición y peso molecular, no explica las propiedades que resultan de su arreglo molecular único (Figura 3). Los dos átomos de hidrógeno están separados entre sí por 105° , adyacentes al átomo de oxígeno, de forma que la molécula es asimétrica, cargada positivamente del lado del hidrógeno y negativa del lado del oxígeno, por esto se dice que el agua es bipolar, esto hace que las moléculas se aglomeren, así tenemos que el hidrógeno de una molécula atrae al oxígeno de otra vecina formando puentes de hidrógeno (Choppin y Summerlin, 1993).

El agua es un compuesto estable que no se puede descomponer fácilmente por que los enlaces covalentes O–H son uniones de gran energía (Figura 3). La exposición de los átomos tanto del hidrógeno como de oxígeno, hacen que fácilmente se formen los puentes de hidrógeno (Kemmer y McCalion, 1992a). Que aunque son mas débiles que los covalentes, le transfieren al agua sus características muy particulares.

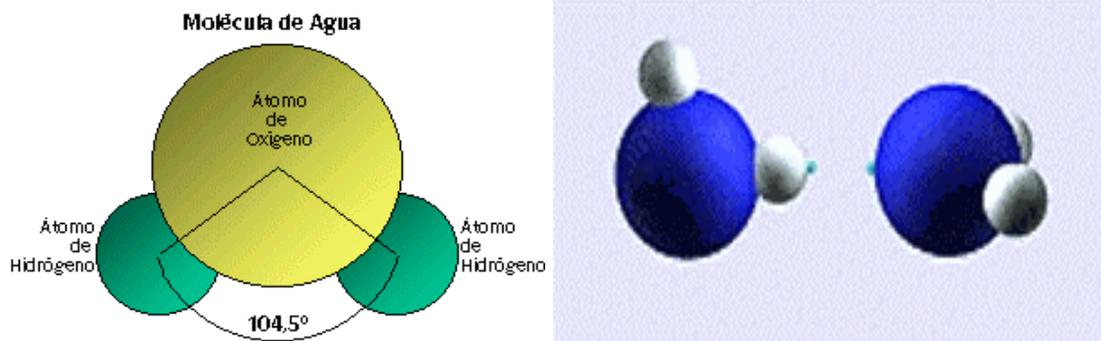


Figura 3. Estructura molecular del agua (Izquierda) formación de puentes de hidrógeno (Derecha).

2. PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL AGUA.

Resulta imposible encontrar el agua pura como tal, ya que su elevado poder de disolución hace que disuelva una serie de compuestos según el lugar en donde se encuentre. Algunos de estos pueden considerarse contaminantes ya que su presencia puede ocasionar efectos perjudiciales dependiendo el uso que se le de al agua.

La remoción de aquellos contaminantes indeseables puede ser una tarea difícil pues existe una gran variedad de ellos y cada situación debe tratarse de manera distinta, según las características de cada contaminante y/o características físicas y químicas del agua.

Además de la interacción de otros factores como temperatura, pH, sólidos totales disueltos (STD), sales minerales, etc. (Tabla 1).

El agua para consumo humano es posible que deba filtrarse y sobretodo desinfectarse para que no cause daños a la salud (Hall y Mogollon, 2001). Entre los procesos y técnicas más comunes para purificar el agua están los tratamientos para la eliminación de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos como: Técnicas de Coagulación, Floculación, Filtración, Suavización y Desionización, Ósmosis Inversa, Ultrafiltración, Nanofiltración, Electrodiálisis, Electrodesionización, Destilación, Microfiltración, Cloración, Ozonización y Luz Ultravioleta. (Perry y Don, 1994; Michaud, 2004; Paul, 2004; Ávila, 2001).

La problemática del agua no solo esta en función de la contaminación, si no también de su escasez. Debido a las condiciones actuales de crecimiento de la población, la presencia creciente de contaminantes químicos y biológicos, el acceso al agua segura, cada vez se reduce más. El Banco Mundial estima que antes del 2025, aproximadamente 4 mil millones de personas (casi como la mitad de la población) podrían vivir bajo condiciones de sequía severa. Diane Raines predice que la escasez cada vez mayor del agua limpia amenaza ser, aun mas que el petróleo, la causa de la agitación política global dentro de décadas venideras (Nesicolaci, 2004). Según datos de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en el 2003 existían 1,1 billones de personas en el mundo que no tienen acceso a agua potable, esta situación afecta a mas de 130 millones de habitantes en América Latina y el Caribe (Aguamarket, 2003).

Tabla 1 Contaminantes del agua natural

TIPOS DE CONTAMINANTES	CONTAMINANTES MÁS COMUNES.
Gases disueltos	Bióxido de carbono, Oxígeno, Ácido fluorhídrico.
Sustancias disueltas	Sílice, Oxido de hierro, Aluminio, Calcio, Manganeso, Compuestos de Sodio, Magnesio.
Sustancias orgánicas	Sulfato de magnesio Nitrato de Calcio Cloruros.
Sustancias en suspensión	Arena, Limos y Arcillas.
Microorganismos	Bacterias, Algas, Hongos, Virus y Protozoos.

2.1. CONTAMINACIÓN.

La contaminación es la impregnación del aire, el agua o el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas. Mas específicamente, la contaminación del agua se refiere a la incorporación al agua de materias extrañas, como productos químicos, residuos industriales y de otros tipos que deterioran su calidad. Los contaminantes del agua también pueden ser de tipo biológico, siendo seres vivos con un determinado ciclo de vida que al penetrar en el ser humano, ocasionan enfermedades de tipo infeccioso o parasitario (Hall y Mogollon, 2001).

Según un reporte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2000, se estimó que 2,213,000 personas murieron por exposiciones a agua contaminada o tratada con un bajo saneamiento (Reynolds, 2003a). La pobre sanitización e higiene en la calidad del agua es consecuencia de 1.7 millones de muertes en el mundo anualmente (Nicholas-John, 2004a).

2.2. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA

Una enfermedad propagada por el agua es aquella causada al ingerir este líquido y que ha sido contaminada por heces u orina humana o de algún animal, que contenga microorganismos patógenos (Tabla 2), (Reynolds, 2001b).

Las enfermedades relacionadas con el agua siguen siendo responsables de una gran cantidad de muertes en el planeta entero, un comunicado de prensa en marzo del 2003 el Consejo de Colaboración del Abastecimiento y Saneamiento del Agua (WSSCC), menciona que, “según las Naciones Unidas en 1990, las carencias de higiene y saneamiento de los abastecimientos de agua... causan unas tres millones de muertes cada año... y que aproximadamente unas 1.1 mil millones de personas están sin acceso a un abastecimiento de agua seguro”. Para 1900 había alrededor de 1.5 mil millones de seres humanos, para 1960 había alrededor de 3 mil millones y hoy en día hay arriba de 6 mil millones ¡la población total se ha cuadruplicado en 100 años! (Paul, 2004).

El crecimiento poblacional, eventos climatológicos, desequilibrios ecológicos y deterioro en la infraestructura de la red de distribución municipal, continúan comprometiendo los suministros de agua, aún en áreas donde existe tratamiento de agua municipal. Los efectos potenciales a la salud de los contaminantes del agua potable pueden ser agudos (un impacto inmediato a la salud) o crónicos, donde los efectos pueden sentirse a través de muchos años. Las enfermedades propagadas a través del agua se reportan con mucha menor frecuencia en relación a las que realmente suceden y solamente en casos raros son diagnosticadas. Por lo tanto, el impacto verdadero de la contaminación microbiana del agua es difícil de evaluar (Reynolds, 2001b).

La contaminación urbana del agua está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan sólo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas o patógenas (Gortáez y Naranjo, 2001). Las bacterias abarcan el grupo más grande de patógenos que se propagan a través del agua (Tabla 3).

Un gran problema que ataca a cerca de 15 millones de personas en los Estados Unidos y otros 4 millones en Canadá es el utilizar el agua de pozo para el uso doméstico. En las provincias donde se realizó un estudio acerca de la calidad del agua de pozos, arrojó que del 20 a 40 % de los pozos se encuentran contaminados por Coliformes fecales. Por estos y muchos otros motivos algunos gobiernos han sugerido el “tratamiento mínimo de desinfección aceptado para el agua subterránea”. Aunque los filtros suavizadores pueden

mejorar las propiedades organolépticas del agua no eliminan a las bacterias (Hutchinson, 2003).

2.2.1 Bacterias

Los microorganismos en general constituyen la parte biológica de la contaminación del agua y han sido la causa de grandes epidemias que se han producido a lo largo de la historia de la humanidad. Como ejemplos se puede citar el tifus, el cólera, la disentería, etc. (Reynolds, 2001b). La diversidad de bacterias patógenas para el hombre y los animales presentes en el agua es muy reducida pero difícil de determinar, por ello y dado que la mayoría de dichos gérmenes patógenos viven en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente, en general la detección de una contaminación fecal constituye una excelente señal de alarma (Reynolds, 2001a). Los metabolitos de algas y actinomicetos emitidos en el medio hídrico pueden producir olores, sabores desagradables y turbidez (Ibáñez, 2000). A pesar de ello no todos los microorganismos son igualmente patógenos, algunos son inócuos y otros son de gran utilidad como los responsables de la autopurificación de los ríos (Sutto, 1994).

Los científicos han identificado grupos de organismos para indicar la presencia de patógenos, los coliformes totales y fecales se utilizan hoy día para determinar la calidad del agua para beber. (Reynolds, 2003d)

Los indicadores bacterianos o bacterias coliformes, han sido útiles para la evaluación de los procesos de tratamientos y algunas veces para determinar la calidad bacteriológica del agua, si embargo, no son confiables para indicar la presencia de protozoarios y virus patógenos (Reynolds, 2001b).

El grupo de los coliformes abarca un grupo de especies tales como las enterobacterias *Klebsiella* spp, *Citrobacter* spp y *Escherichia coli*, son Gram negativas y se definen como las que tienen la capacidad de fermentar la lactosa en 48 hrs a 35°C, los coliformes fecales son un subgrupo distinguido por ser termófilas (44.5 °C) (Reynolds, 2003d).

Tabla 2. Enfermedades hidrottransmisibles por microorganismos patógenos

(reporte de algunos patógenos que han aparecido en los últimos 30 años).

Tomado de Reynolds 2001b.

AGENTE	ENFERMEDAD / SÍNTOMAS
<i>Rotavirus</i>	Diarrea
<i>Legionella</i>	Enfermedad del Legionario
<i>Escherichia coli</i> 0157:H7	Fiebre enterohemorrágica, trastorno renal
<i>Virus Hepatitis E</i>	Hepatitis
<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidiosis/ diarrea
<i>Calicivirus</i>	Diarrea
<i>Helicobacter pilori</i>	Úlceras estomacales
<i>Cyclospora</i>	Ciclosporiasis/diarrea
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis/diarrea
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmosis/ Un síndrome glandular parecido a la fiebre; puede causar daño al feto incluyendo el aborto.
<i>Vibrio cholerae</i>	Diarrea, Cólera
<i>Campylobacter jejuni</i>	Diarrea

Los patógenos tales como el Rotavirus, *Escherichia coli* Enterotoxigenica (ETEC), *Shigella* spp, *Campylobacter jejuni* y *Cryptosporidium parvum* son agentes etiológicos importantes de enfermedades diarreicas en Latinoamérica (Reynolds, 2001c, Reynolds, 2003d). Otros microorganismos no tan comunes, como las algas azul verde (Cianobacterias) que causó estragos durante la primavera del 2000 en Argentina no son utilizados como indicadores de contaminación en la normatividad mundial a pesar de su resistencia a los procesos comunes de desinfección y que como en el caso de virus y protozoos las técnicas para su identificación son muy costosas (Gortáez y Naranjo, 2001).

Uno de los patógenos microbianos más intimidantes que se propaga a través del agua es el *Vibrio cholerae* esta especie se encuentra naturalmente en estuarios (ríos y lagos) y en medios marinos, comparten su hábitat con los crustáceos. El consumo de alimentos y agua contaminada constituyen las rutas más comunes para la infección por *Vibrio*. Los investigadores calculan que se debe ingerir aproximadamente un millón de estos organismos antes de que aparezca la enfermedad, la OMS estima que cada año mueren mas de 150,000 individuos en países en vías de desarrollo por esta causa, de los cuales un tercio son niños menores de 5 años. Para México en la década de los 90 se presentaron 45,577 casos de cólera (Reynolds, 2001c).

Las salmonelas son bacterias patógenas comúnmente encontradas en productos crudos de aves de corral, en desechos humanos y de animales, son propagados a través de los alimentos y el agua. La *S. typhi* y el *Vibrio cholerae* (responsables de la tifoidea y el cólera respectivamente), fueron los primeros patógenos propagados por el agua en ser reconocidos desde su identificación en el siglo XIX. *S. typhi* solamente infecta a los seres

humanos y es propagada a través del agua y los alimentos contaminados. Su principal ruta de transmisión es la contaminación del agua con heces humanas. Es difícil determinar el número de infecciones de esta bacteria en Latinoamérica. Es posible que los individuos afectados no busquen tratamiento y muchas veces no se mantienen registros que documenten sus casos (Reynolds, 2002e).

Un prominente patógeno es la bacteria *Campilobacter* sp., es la causa más común de la gastroenteritis bacteriana alrededor del mundo, en Estados Unidos causa del 5 al 11 % de toda la diarrea mas que la Salmonela o Shigela juntas. El centro para control de enfermedades y prevención divulgó que *Campilobacter* sp. Causó dos millones de enfermedades humanas, 10 000 hospitalizaciones y 100 muertes por año. En 1996 se reporto ún brote de 2400 personas en Dinamarca, en 1990 hubo otro brote en Nueva Zelanda, Finlandia experimento tres brotes durante 2000-2001, en Canadá hubo mas de 2000 enfermos por esta causa durante el mismo periodo. El alimento y el agua contaminada son una de las principales rutas de infección por *Campilobacter* sp.(Reynolds, 2003f).

Las bacterias oportunistas, las que atacan o infectan cuando se tienen las defensas bajas o débiles están comúnmente presentes en el agua de la red municipal y/o del grifo. Las llamadas MAC[©] (Complejo de *Micobacterium avium*), son mas de 32 especies patógenas al hombre entre las que se encuentran las bacterias responsables de la tuberculosis. La transmisión puede ocurrir vía contacto directo, ingestión y aspiración. La agencia de protección del medioambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (en ingles: Environmental Protection Agency Unit States) (USEPA) ha colocado a MAC dentro de los 10 microorganismos mas peligrosos, los MAC tienen una tendencia al aumento de resistencia a los agentes microbianos (Reynolds, 2001g).

Hasta finales de la década de los sesenta se pensaba que las amenazas de contraer enfermedades propagadas por el agua estaban bajo control en los países desarrollados a través del uso de tratamiento apropiado, sin embargo se detectaron algunas enfermedades propagadas por el agua relacionadas con virus y protozoos, sugiriendo que estos agentes eran más resistentes a la desinfección que las bacterias entéricas o intestinales (Gortáez y Naranjo, 2001).

2.2.2. Protozoarios

Los protozoos abarcan mas de 65 000 especies nombradas. Los patógenos son pocos (aproximadamente un 20 %) tales como: *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba hystolytica*, *Toxoplasma*, *Histomonas*, *Trichomonas*, *Naegleria*, *Acanthamoeba* y *Microsporidium*, los cuales pueden causar enfermedades significativas, lo que se ha convertido en una preocupación con respecto al agua potable. Algunas especies tienen relaciones comensales con su hospedero donde uno se utiliza del otro sin dañarse; otras especies tienen relaciones simbióticas. El tamaño de los protozoarios puede variar de 2 μ a varios cm. Muchos protozoos parásitos tienen una etapa ambientalmente resistente como parte de su ciclo vital. Los quistes u oocistos se definen como fase metabólicamente inactiva. Estos organismos

[©] Por sus siglas en ingles MAC-*Mycobacterium avium complex*.

pueden causar enfermedades tales como: Malaria, enfermedad del sueño, enfermedad del Chagas, Leishmaniasis, Giardiosis, Cryptosporidiosis, Toxoplasmosis entre otras (Reynolds, 2002h).

Los parásitos protozoarios son típicamente ingeridos en la forma de un quiste ambientalmente estable (Quiste, Oocisto o Espora). Tan solo un quiste infeccioso puede causar una infección seria al ser humano (Tabla 3). Estos parásitos son particularmente difíciles de eliminar del agua potable debido a su resistencia contra los desinfectantes convencionales (Reynolds, 2001b).

2.2.3. Virus

La poliomielitis, hepatitis, herpes, sarampión, enfermedades cardiacas, artritis, diarrea, gripe, catarro común, el SARS (Síndrome Agudo Respiratorio Severo) y muchas otras enfermedades son causadas por virus, los cuales se encuentran en el ambiente. La mayor parte de los virus de interés en los alimentos y/o bebidas son denominados entéricos, lo cual significa que pueden reconocer e invadir el sistema gastrointestinal. Como los enterovirus, adenovirus, rotavirus, virus de la hepatitis A y calicivirus. Estos tienen un largo periodo de supervivencia mas largo que muchas bacterias (Reynolds, 2003i).

Existen investigaciones que relacionan las condiciones fisicoquímicas del agua con algunas enfermedades, como el caso de la diabetes que la relacionan con la acidez del agua, así mismo, esta enfermedad también se ha relacionado con un virus, *Coxsackievirus* B4(CVB4), el cual se propaga a través de la ruta fecal-oral o vía respiratoria, este virus sobrevive a algunos de los tratamientos convencionales del agua y es capaz de infectar el páncreas trayendo consigo la diabetes Tipo 1 (Reynolds, 2003j).

Los Calicivirus humanos se dividen en dos géneros Norovirus y el virus de Sapporo. Los Norovirus son pequeños de 27-30 nm con RNA asociado a menudo con enfermedades relacionadas con el agua. Se cree que los Calicivirus son la primera causa de gastroenteritis viral a nivel mundial; son transmitidos por alimentos o agua contaminada.

El problema con los virus radica primero en que no hay un método de determinación exacto y adecuado para cada especie, en segundo lugar la gran variedad de nombres que se le dan al mismo patógeno, como ocurre con el virus de Norwalk y en tercer lugar la relativa resistencia que presentan al cloro (Reynolds, 2003f) y a otros tratamientos por mas de un año (Beuret y Cols, 2000).

2.2.4. Otros patógenos

Entre los gusanos parásitos como la Tenia (*Taenia solium* y *Taenia saginata*) a algunos nematelmintos (*Ascaris lumbricoides*, *Strongyloides stercoralis*, *Ancylostoma duodenale*, *trichinella spiralis*) y los llamados Equistosomas, son parásitos endémicos en 76 países tropicales y subtropicales, se les encuentran en canales, ríos, lagos etc. Estos parásitos son capaces de penetrar la piel humana en segundos, aproximadamente un mes después de la infección, se transforman a lombrices largas que pueden llegar a poner hasta 2 000 huevos por día durante años, cerca de la mitad se excretan en las heces y la orina, se cree que más de 200 millones de personas se encuentran infectadas (Barnes, 1993; Reynolds, 2002k).

En la industria de la fabricación de equipos purificadores de agua Punto De Entrada (PDO) y Punto De Uso (PDU) la presencia de moho y hongos siempre ha sido de gran preocupación, aproximadamente 200 especies son capaces de ocasionar enfermedades en vertebrados. Las esporas fúngicas varían en tamaño que van de 1 a 100 μ , las cuales le permiten sobrevivir en condiciones adversas. Los mohos pueden causar una gran variedad de efectos en la salud, desde una infección en la piel hasta la muerte. Algunos hongos producen metabolitos conocidos como compuestos orgánicos microbianos volátiles y micotoxinas, los efectos ocasionados por estos metabolitos son mas bien alérgicos (fiebre del heno, asma, entre otras) (Reynolds, 2001l).

En las aguas naturales hay microorganismos que pueden ser banales o no patógenos, bacterias, hongos y organismos saprofitos evitan que las sustancias biodegradables se acumulen y aseguren el ciclo de los materiales en las aguas, son los responsables del proceso de autodepuración de los cuerpos de agua (Reynolds, 2003m).

2.2.5. Epidemiología.

Se calcula que una de cada cuatro camas de hospital a nivel mundial se encuentra ocupada por una persona que bebió agua contaminada. De acuerdo al Informe del de la OMS en 1992, las enfermedades diarreicas que se originan en el agua contaminada matan aproximadamente 2 millones de niños anualmente y causan 900 millones de episodios de enfermedades cada año. En 1998 la Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó que las enfermedades diarreicas están clasificadas en primer lugar entre las causas de muerte, habiéndose reportado 4 mil millones de casos en 1997 y 2.5 millones de muertes, se cree que aproximadamente una tercera parte de estas enfermedades es causada por el agua contaminada. Las consecuencias de la mala calidad del agua pueden extenderse más allá de las enfermedades diarreicas y pueden incluir condiciones crónicas tales como: Insuficiencia renal, daño cerebral, artritis y otras enfermedades de autoinmunidad, enfermedades del corazón, cáncer estomacal, diabetes, crecimiento impedido y desarrollo intelectual impedido (Reynolds, 2001b). Los patógenos que se propagan a través del agua son típicamente difundidos mediante la vía fecal-oral, lo cual quiere decir que el agua es contaminada por desechos humanos o animales y posteriormente es ingerida por otro ser humano (Gortáez y Naranjo, 2001).

Las enfermedades propagadas por el agua tales como giardiosis, hepatitis, criptosporidiosis entre otras, se encuentran entre las tres causas principales de enfermedad y muerte en el ámbito mundial. Mientras que en países en vías de desarrollo las diarreas agudas, sin incluir la tifoidea, hepatitis y otras se encuentran entre las 10 causas principales de enfermedades, De acuerdo con la OMS en 1988, se reportó que hubo en promedio 4.6 eventos de esta naturaleza en cada niño menor de 5 años en países americanos y que para 1996 cada 8 seg moría un niño a causa de una enfermedad propagada por el agua y cada año mas de 5 millones de personas mueren debido a enfermedades relacionadas con el agua que no es segura para beber o por saneamiento inadecuado (Gortáez y Naranjo, 2001).

De acuerdo con la OMS “las enfermedades infecciosas causadas por bacterias o virus patógenos o por parásitos representan el riesgo a la salud más común y extenso asociado con el agua para beber”. El uso de agua contaminada para beber, para preparar comida, el contacto durante el lavado o el baño y aun la inhalación de aerosoles de agua, pueden resultar en una infección. (Reynolds, 2001b).

Las acciones realizadas por el gobierno federal en coordinación con el Sector Salud en México para afrontar problemas de origen hídrico y el uso de plata coloidal como medida complementaria para la desinfección intradomiciliaria, reflejaron una disminución en los casos de cólera ya que de los 71 ocurridos en 1998, sólo se presentaron nueve en 1999 de los cuales ocho se originaron por el consumo de alimentos contaminados, esta cifra representa el 0.02 % del total desde 1991. Es importante mencionar que desde 1998 no se han presentado defunciones en nuestro país por este padecimiento (Reynolds, 2001c).

Se cree que en Estados Unidos la causa de enfermedades entéricas que se propagan por el agua son las causantes de casi 6,000 muertes por día, representando esto un costo estimado de 20,000 millones de dólares anuales en perdida de productividad (Reynolds, 2004n).

También se calcula que aproximadamente mas de la mitad de los brotes por agua potable hoy en día son causados por agentes desconocidos o no identificados ya que muchos de los patógenos no pueden ser identificados en laboratorio y muchas nuevas clases de patógenos continúan emergiendo y se piensa que la incidencia de las enfermedades microbianas documentadas representan un verdadero impacto en la salud pública (Reynolds, 2004n).

En Perú en el año de 1991, se detuvieron los procesos de cloración debido en gran parte por el temor a los daños causados por los trihalometanos (THS), el resultado fue el principio de una epidemia de cólera que duró 5 años (Reynolds, 2002o).

Tabla 3: Patógenos más comunes transmitidos por el agua potable.

(*Dosis infecciosa para virus calculada de HAV, Norwalk virus y Rotavirus data).

Categoría	Patógeno	Dosis	
Bacteria	<i>Vibrio cholera</i>	10 ⁸	
	<i>Salmonella spp.</i>	10 ⁶⁻⁷	
	<i>Shigella spp.</i>	10 ²	
	<i>Escherichia coli Tóxica</i>	10 ²⁻⁹	
	<i>Campylobacter spp.</i>	10 ⁶	
	<i>Leptospira spp.</i>	3	
	<i>Francisella tularensis</i>	10	
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	10 ⁹	
	<i>Aeromonas spp.</i>	10 ⁸	
	<i>Helicobacter pylori</i>	?	
	<i>Legionella pneumophila</i>	>10	
	<i>Mycobacterium avium</i>	?	
	Protozoos	<i>Giardia lamblia</i>	1-10
		<i>Cryptosporidium parvum</i>	1-30
<i>Naegleria fowleri</i>		?	
<i>Acanthamoeba spp.</i>		?	
<i>Entamoeba histolytica</i>		10-1000	
<i>Cyclospora cayetanensis</i>		?	
<i>Isospora belli</i>		?	
<i>Microsporidia</i>		?	
<i>Ballantidium coli</i>		25-100	
<i>Toxoplasma gondii</i>		?	
Virus		Norwalk virus, SRSV,	1-10
	Poliovirus	1-10	
	Coxsackievirus	1-10	
	Echovirus	1-10	
	Reovirus	1-10	
	Adenovirus	1-10	
	HAV/HEV	1-10	
	Rotavirus	1-10	
	Astrovirus	1-10	
	Coronavirus	1-10	
Gusanos	<i>Schistosoma spp</i>	?	

Fuente: Reynolds, 2001b.

En Bangladesh después de las inundaciones de 1998, un alto índice de personas contrajeron enfermedades parasitarias asociadas con diarrea, esto se relacionó al agua no desinfectada que tomaban, ya que las personas que bebían agua clorada no enfermaron (Kunni y Cols, 2002).

En Finlandia ocurrieron catorce epidemias durante 1998-99 reportándose 7300 casos, De estas, tres fueron muy largas, con 6700 casos, y se las atribuyeron al virus de Norwalky y a *Campylobacter*, como consecuencia de una deficiente desinfección y purificación en el agua (Miettinen y Cols., 2000).

Algunos estudios han encontrado cierta relación entre las enfermedades gastrointestinales y la turbiedad del agua, considerando a esta como indicador de calidad. Un ejemplo de estos estudios fueron los realizados en Philadelphia en 1999 por Schwartz y Cols. donde el aumento de la turbiedad iba de la mano con el aumento de los casos presentes en el hospital. Casos similares ocurrieron en varias ciudades de los Estados Unidos como Milwaukee, Wisconsin y Philadelphia (Gaffield y Cols, 2003).

2.3. PROCESOS DE DESINFECCIÓN.

Para potabilizar el agua es indispensable el uso de procesos de desinfección para prevenir importantes riesgos a la salud. Existen varios métodos para desinfectar el agua: El más común es el uso de Cloro, otros como la Cloramida, Peróxido de Hidrógeno, Bromo o el Yodo que también pueden ser utilizados para este fin. En cada caso, pueden existir condiciones y precauciones específicas para asegurar una desinfección eficaz. Otras tecnologías avanzadas relacionadas con la desinfección que han ganado popularidad recientemente incluyen la irradiación por luz ultravioleta (U. V.) y la ozonificación. Estas tecnologías requieren un control de flujo estricto para asegurar el tiempo apropiado de contacto (CT). Otros como el uso de filtros con abertura de poros muy pequeños (<0.1µm) para retener ciertos patógenos y más recientemente el uso de membranas como la microfiltración, la ultrafiltración, nanofiltración, electrodiálisis, ósmosis inversa, además de la electrodesionización y la destilación para la separación de patógenos y sales minerales. La finalidad más importante del uso de métodos de desinfección es obtener agua libre de agentes patógenos (Reynolds, 2003p).

3. JUSTIFICACIÓN.

La problemática que acarrea el ingerir agua contaminada o de dudosa calidad, por el ser humano ha generado la necesidad de implementar procesos de desinfección que le permitan producir agua 100 % confiable. Esta agua debe estar libre de cualquier patógeno lo que quiere decir que haya pasado por un proceso efectivo de desinfección a pequeña escala ya sea punto de entrada (PDO) y punto de uso (PDU) (Reynolds, 2003f, Reynolds, 2003p) o a gran escala como ocurre en las redes municipales o en plantas purificadoras donde grandes volúmenes de agua tienen que ser sometidos a tratamientos adecuados y regulados que cumplan con los estándares de calidad y en el caso de México con las NOM-201-SSA1-2002, NOM-012-SSA1-1993, NOM-127-SSA1-1994 para asegurar la calidad del producto y la salud del consumidor final (Villa, 2003).

La creación continua de contaminantes conduce a la necesidad de aumento de tratamientos de agua avanzados, tanto para aguas potables como para aguas residuales (Paul, 2004)

Con relación a esto último en nuestro país en años recientes ha tenido un auge importante, el establecimiento de plantas purificadoras de agua en donde el objetivo primordial es el uso de procesos de desinfección que permitan la comercialización de agua purificada la cual debe cumplir con la calidad establecida por la Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2002 .

4. OBJETIVOS.

Con la finalidad de abordar la importancia del uso de los procesos de desinfección del agua usados rutinariamente en el tratamiento de dicho recurso se han planteado los siguientes objetivos.

OBJETIVO GENERAL:

Describir los métodos de desinfección del agua mas usados a nivel industrial para consumo humano.

OBJETIVOS PARTICULARES:

Revisar de manera bibliográfica los métodos más utilizados en la desinfección del agua a nivel industrial.

Comparar los métodos de desinfección del agua utilizados para consumo humano.

Describir del proceso de purificación del agua en una planta modelo.

Es de suma importancia que delimitemos que es un desinfectante, un sanitizante y un esterilizante, que muchas veces se usan como sinónimos, cuando no lo son.

Un Sanitizante es un agente químico capaz de reducir el número de microorganismos a un nivel seguro (99.9 a un 99.999 %) para determinar su eficacia es de un tiempo no mayor de 30 seg.

Un desinfectante también es un agente químico capaz de destruir por lo menos a un 99.999 % de patógenos bacterianos, en un plazo de 5 a 10 min aunque no necesariamente es capaz de matar a bacterias formadoras de esporas o patógenos virales.

Los esterilizantes dejan el medio totalmente libre de toda vida microbiana (100 %) incluyendo las bacterias formadoras de esporas y virus que son altamente resistentes (Reynolds, 2002q).

5. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN.

El estudio de sistemas de tratamiento de agua es un campo bastante amplio. Esta presentación no tiene la intención de cubrir todas sus ramificaciones, sino ofrecer una revisión bibliográfica de los diferentes métodos de desinfección utilizados en el tratamiento industrial del agua para consumo humano. Describiendo cada método así como la comparación de ventajas y desventajas que se tienen del uso de cada uno de ellos.

5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DESINFECCIÓN.

Existen diferentes métodos para desinfectar, sin embargo determinar cual método se debe utilizar puede ser una tarea bastante extensa, según la calidad del agua cruda y cambios en condiciones ambientales, las tres opciones básicas son tratamiento por calor (Pasteurización, Ultrapasteurización, Destilación, etc.), por irradiación (Luz U. V.) o mediante el uso de productos químicos (No oxidantes y Oxidantes, dentro de este último los Clorados y no Clorados). (Castro, 2003). Otros son los métodos físicos basados en la exclusión por tamaño, como en el caso de filtros y membranas (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, electrodiálisis, ósmosis inversa y electrodesionización).

Los agentes biocidas son seleccionados dependiendo del ambiente en que se espera que actúen y en la identificación de los microorganismos a controlar así como sus características. Algunos ejemplos simples serían subir el pH para controlar bacterias acidófilas o bajarlo para bacterias alcalígenas, secuestrar el oxígeno para controlar bacterias aerobias (bisulfito de sodio para plantas de ósmosis inversa), enfriar el agua para bacterias termofílicas, oxigenar el agua para anaerobias y el gas dióxido de cloro para sanitizar el aire (Castro, 2003).

5.1.1. Agentes No Oxidantes.

Los agentes “no oxidantes” usan diferentes mecanismos en su acción biocida. Generalmente un envenenamiento lento de las células, alterando su metabolismo de alguna forma. Como ejemplos podemos mencionar: Sulfato de cobre, fenoles clorados, óxido de tributil estaño $[(C_4H_9)_3 \equiv Sn - O - Sn \equiv (C_4H_9)_3]$, compuestos de amonio cuaternarios, organosulfuros como el metilbistiocianato, ditiocarbamatos, la propianamida de dibromo nitrilo, iones plata y otros (Castro, 2003).

5.1.2. Agentes Oxidantes

La acción biocida de los agentes “oxidantes” interfiere con la síntesis de proteínas en las células, resultando en la muerte de los microorganismos. En este grupo están el cloro, bromo, yodo, dióxido de cloro, ozono, peróxido de hidrógeno, juntamente con algunas sales halógenas y de peróxido. Debido a que los agentes oxidantes operan por contacto, su aplicación preferencial es en sistemas limpios, bajo condiciones de tratamiento que aseguren mantenerse limpios para que la acción biocida se mantenga efectiva. La acción de los oxidantes sobre la biopelícula es únicamente en la superficie, manteniendo el interior de esta masa microbiológicamente activa (Castro, 2003).

Para que los agentes oxidantes puedan tener un efecto biocida, deben primero satisfacer la demanda natural del agua de los oxidantes, causada por materia orgánica y por hierro (Fe), manganeso (Mn) y sulfuro de hidrógeno (H₂S). La oxidación del Fe y del H₂S para su remoción del sistema, podrían no ser efectivas sin un control adecuado de las bacterias reductoras de sulfatos (*Desulfovibrio desulfuricans*) y del hierro (*Gallionella*, *Crenothrix* y *Leptothrix*) (Castro, 2003).

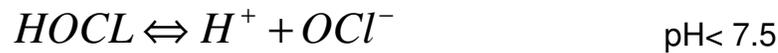
Otro cuidado a considerar, es la posible formación de subproductos de la desinfección (SPD) orgánicos, tales como trihalometanos (THS), ácidos haloacéticos (HAAs), nitrilos haloacéticos (HAN), haloquetones (HK), aldehídos (ALD), ácido dicloroacético(DCA) y otros compuestos orgánicos (Castro, 2003; Gibbons y Laha, 1999, McHugh Law y Cols, 1998).

5.1.2.1. Biocidas Clorados.

La cloración del agua es un proceso clásico de oxidación reducción y de desinfección, suele conseguir la eliminación de cantidades discretas de Fe, Mn, Amonio, Nitritos, H₂S y la flora microbiana habitual de un agua no tratada (Perruolo, 2003).

El cloro, como gas es 2.5 veces más denso que el aire, y puede ser mortal a concentraciones mayores de 1 g/l, como liquido (gas comprimido) es 1.5 veces más denso que el agua. Reacciona violentamente con ciertos contaminantes como grasas, partículas de metal, hidrocarburos, y otros compuestos inflamables (Reynolds, 2002o).

El cloro reacciona con el agua para formar el ácido hipocloroso (HOCl) y el ácido clorhídrico (HCl) según la siguiente reacción:



Las dos reacciones anteriores dependen del pH del agua, la primera predomina a pH menor de 7.5 y la segunda con valores mayores de 7.5. Las cantidades de ácido hipocloroso y de iones de hipoclorito formados en las reacciones anteriores equivalen a la capacidad oxidante y a la cantidad de cloro original. Con valores de pH de 5 o menos, el cloro esta en forma de cloro molecular, cuando el valor de pH se encuentra entre 5 y 6, el cloro existe casi enteramente como ácido hipocloroso, por encima de pH 6, hay iones de hipoclorito y se hacen predominantes cuando el pH excede de 7.5. El valor de pH del agua clorada se encuentra generalmente en el intervalo en que el cloro existe como ácido hipocloroso y iones hipoclorito, conociéndose como *cloro activo libre*. El cloro que existe en el agua en combinación química con el amoníaco o compuestos de nitrógeno se llama *cloro activo combinado*. La actividad del cloro activo libre y del cloro activo combinado en el agua se ve afectada por la temperatura y el pH de la solución. El aumento de la temperatura y la disminución del pH aceleran las reacciones químicas, las condiciones contrarias reducen la velocidad y la extensión de estas reacciones (Reynolds, 2002o).

De las reacciones anteriores se desprende evidentemente que la adición de cloro al agua reduce la alcalinidad. Una parte por millón de cloro en el agua neutralizará no menos de 0.7 mg/l de alcalinidad como carbonato de calcio y puede neutralizar 1.4 mg/l, según el grado de ionización del ácido hipocloroso y el grado en que es consumido por las materias en el agua (Reynolds, 2002o).

Reacciones producidas en el agua por el cloro: (Perruolo, 2003).

- A). - La combinación directa del cloro con las materia orgánica e inorgánica.
- B). - La oxidación de los compuestos orgánicos e inorgánicos.
- C). - La coagulación, precipitación o cambio en el estado físico de los compuestos orgánicos.
- D). - El cloro activo libre reacciona con el amoníaco para formar las cloraminas y con los compuestos nitrogenados (proteínas y aminoácidos) para formar derivados clorados.

La demanda de cloro es la diferencia entre la cantidad de cloro agregada al agua y la cantidad de cloro (activo libre y activo combinado) que queda al final de un periodo de contacto específico (cloro residual). Para todas las aguas la demanda variara según la cantidad de cloro aplicado, el tiempo de contacto y la temperatura, por lo tanto la demanda de cloro de cualquier agua será determinada por la cantidad y tipo del residuo de cloro que deberá mantenerse durante un periodo de contacto determinado (Reynolds, 2002o).

El propósito principal de añadir el cloro al agua es destruir las bacterias y otros microorganismos, la eficacia bactericida del cloro y de sus compuestos depende de los

mismos factores que rigen su acción química como: Periodo de reacción, temperatura, concentración de iones de hidrógeno y concentración de compuestos que consumen cloro, por lo tanto, un aumento de la temperatura, del tiempo de reacción o de la concentración de cloro aumenta las propiedades bactericidas. La capacidad bactericida del cloro disminuye considerablemente con el aumento de los valores de pH, debido a la concentración mayor de iones de hipoclorito que de ácido hipocloroso (Andrew, 2003b). Otros factores que pueden intervenir en la funcionalidad del cloro y pueden perjudicar el producto final es el olor desagradable que produce al estar en contacto con las sustancias orgánicas del agua y esto aumenta en presencia de aminoácidos (Kaijina y Cols 1997)

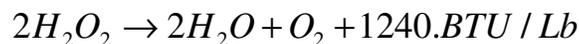
Presentaciones de compuestos de cloro:

- Gas Cloro (Cl_2).
- Hipoclorito de sodio (NaOCl).
- Hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$).
- Cloraminas (NH_2Cl , NHCl_2 , NCl).
- Dióxido de Cloro (ClO_2).

5.1.2.2. Otros Biocidas:

Yodo: Ha sido usado en sistemas de potabilización pequeños y en emergencias. Su costo es mayor que el del cloro. Normalmente, está disponible en cristales para ser usado en tanques dosificadores o en ciertas resinas (Castro, 2003). El uso de yodo es un buen sanitizante a una concentración de 25 mg/l y usándolo a 75 mg/l sirve de desinfectante (Reynolds, 2002q).

Peróxido de hidrógeno: Se comercializa en soluciones hasta del 70 %. Debe controlarse bien su uso, almacenaje y manejo, ya que a altos niveles de concentración puede quemar la piel y existe la posibilidad de explosiones si entra en contacto con ciertos compuestos orgánicos o si se descompone generando calor y suficiente oxígeno. La descomposición del peróxido de hidrógeno es una reacción exotérmica (Castro, 2003; Reynolds, 2002o).



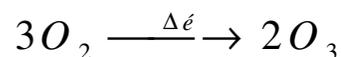
El uso de glutaraldehído o formaldehído como esterilizantes se ha estado dejando de usar por sus posibles riesgos carcinogénicos (Reynolds, 2002q).

5.2. OZONIZACIÓN.

El tratamiento con ozono es una de las barreras más eficaces para la contaminación microbiana, puede prever la protección contra microorganismos para los consumidores de agua (Bollyky, 2001). El ozono, en Europa se ha utilizado continuamente desde principios del siglo pasado para la desinfección de agua municipal (Albicker, 2001).

El ozono se genera a partir de aire u oxígeno al aplicar una descarga de alto voltaje para convertir parte del oxígeno (O₂) a ozono (O₃). El gas ozonizado se mezcla con el agua para disolverlo. Esta mezcla se logra usualmente burbujeando el gas a través de un difusor poroso en el fondo de un tanque, o por medio de un eyector en línea que produce una zona de alta turbulencia aguas abajo. El ozono es una molécula altamente reactiva e inestable, a temperatura ambiente es un gas de color azul. (Albicker, 2001; Azcarreta, 2003).

El ozono es un reactivo químico no convencional, en el sentido de que se ha de generar “*in situ*” durante el proceso del tratamiento de agua. Su producción se basa en la reacción química global:



El gas se produce a partir de oxígeno al aplicarle una descarga eléctrica, en este proceso debe operarse con aire extremadamente seco y razonablemente exento de impurezas o bien con oxígeno puro, con lo cual el rendimiento de producción se incrementaría notablemente (Stanley, 2004a).

La ozonización es un método de tratamiento de aguas que está siendo cada vez más utilizado, debido al gran poder oxidante del ozono frente a sustancias inorgánicas presentes en agua y no convenientemente eliminadas con cloro, como compuestos orgánicos susceptibles de provocar problemas de olor, sabor y cloraminas, para destruir la materia orgánica colorante y para oxidar o reducir las sales de hierro o manganeso a óxidos insolubles, además por su elevado poder germicida frente a la flora microbiana del agua. En este aspecto, la acción del ozono frente a virus y microorganismos con capacidad de formar esporas es superior a la del cloro (Bollyky, 2001) (K. K. Jyoti y Pandit, 2004).

Su alta capacidad para oxidar que le transfiere el ser un radical libre nos ayuda a destruir prácticamente cualquier molécula o compuesto existente en el agua. Gracias a esta propiedad también nos transfiere otra, su rápida destrucción, tiene una vida media muy baja que oscila entre las 2 y 12 hrs, dependiendo de la temperatura, pH, compuestos orgánicos, luz, etc. (Bollyky, 2001, Agolini y cols, 2001).

Por su alta capacidad para oxidante, debe de manejarse con cuidado y observar la su factor de concentración (CT) que es la cantidad por litro (mg/l) por tiempo (min) adecuada para una desinfección efectiva, de igual forma se debe observar el agua que se está tratando para evitar la creación de subproductos como la creación de bromuros que son altamente tóxicos (Agolini y cols, 2001, Albicker, 2002)

Una manera de producir ozono más eficiente y con tecnología más innovadora consiste en utilizar un generador electrolítico de ozono, el cual lo produce a partir del agua

que esta siendo tratada mediante una descarga de barrera dieléctrica, utilizando ya sea aire seco u oxígeno seco como gas de alimentación. Este generador divide el agua en sus elementos básicos y luego convierte parte del oxígeno liberado en ozono. El ozono sintético producido es ideal para la desinfección del agua potable (Stanley, 2004b).

5.3. LUZ ULTRAVIOLETA.

Aunque la irradiación ligera con luz ultravioleta (U. V.) no es una nueva tecnología, sé esta considerando como una de las tecnologías más crecientes en la industria de tratamiento de agua, en Europa se ha empleado desde hace muchas décadas, en países como Estados Unidos y en otros se empezó a utilizar desde los 90's (Stoll, 2004). Su uso en el tratamiento de aguas desde los últimos años de la década de los 70 hasta hoy ha sido muy eficiente, rentable y confiable de matar virtualmente a todos los microorganismos (Hutchinson, 2003).

El término luz ultravioleta (U. V.) es aplicado a la irradiación electromagnética emitida por la región del espectro que ocupa la posición intermedia de la luz visible y los rayos X. El espectro ultravioleta esta dividido en cuatro áreas designadas: U. V. vacía, que va de 100-200 nm; U. V.-A, que abarca de los 315 – 400 nm; U. V.-B, de 280 – 315 nm y U. V.-C de 200 – 280 nm (Figura 4). La acción germicida de la luz U. V. se encuentra entre la región de los 200 y 300 nm y el mayor poder germicida esta entre los 245 y los 285 nm. La longitud onda de 254nm es la absorbida por el Ácido desoxirribonucleico (ADN) y es asociada con mutaciones, cáncer y la misma inactivación de microorganismos (Pérez de Caso, 2002; Reynolds, 2002r; Stoll, 2004; Díaz y Serrano, 2001).

Cuando la luz U. V. hace contacto con los microorganismos que contiene el agua penetra su membrana exterior y destruye el ADN, material genético esencial para todo organismo viviente. Esto impide su reproducción y si no puede reproducirse entonces se le considera muerto (Pérez de Caso, 2002).

Después de la irradiación con luz U. V. ocurre que los dímeros quedan enganchados a los filamentos de ácido nucleico evitando la reproducción (Reynolds, 2002r; Stoll, 2004; Hargy, 2001; Díaz y Serrano, 2001; Siddiqui, 2004). Los dímeros más importantes son timina-timina; timina-citosina; citosina-citosina que se forman entre pirimidinas adyacentes, lo que incrementa enormemente la probabilidad de que durante la replicación del DNA, la DNA-polimerasa inserte un nucleótido incorrecto en tal posición (Mateos G. 2004).

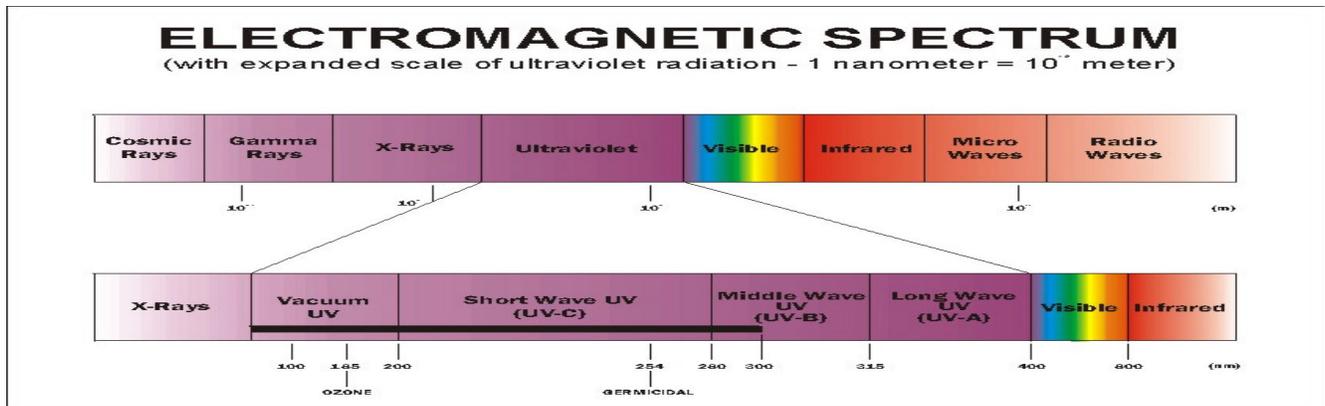


Figura 4. Espectro electromagnético y de luz U. V.

La luz ultravioleta es generada por lámparas de cuarzo en las que atraviesa una carga eléctrica a través de gas de mercurio, existen tres tipos de lámparas: De baja presión, las cuales emiten longitudes de onda aproximadamente de 254 nm. Las de presión media, que emiten longitudes de onda a partir de 180 nm a 1.370 nm y las de alta presión que emiten otras longitudes de onda. La exposición de la dosificación se mide en intensidad por tiempo por área, que es igual que milivoltio por segundo por centímetro cuadrado ($\text{mw} - \text{sec}/\text{cm}^2$), que es igual a milijoules por centímetro cuadrado (mJ/cm^2). Hoy día se usa una nueva lámpara de gas Xenón a base de pulsaciones que pueden ser controladas dentro del reactor, esta nueva tecnología tiene una irradiación muy alta de unos $75 \text{ mw}\text{-seg}/\text{cm}^2$, la cual ha demostrado ser muy eficaz contra protozoos, debido al daño fotoquímico al ADN o al Ácido ribonucleico (ARN) del organismo (Zanardi y Cols., 2003).

Cuando el sistema apropiado está instalado y funciona correctamente, la desinfección por medio de luz U. V. ofrece una reducción del 99.99 % tanto en bacterias como en virus y resulta mucho más efectiva para destruir virus que los procesos de desinfección química (Pérez de Caso, 2002). La desinfección con luz U. V. no altera las propiedades fisicoquímicas y organolépticas del agua, ya que no se le agrega ninguna sustancia al agua (Reynolds, 2002r; Siddiqui, 2004).

Existe una relación directa y proporcional entre la dosis de U. V. y la respuesta microbiana. La U. V. de alta intensidad necesita tiempos de contacto mas cortos y es igualmente eficaz que la de baja intensidad con periodos más largos (Stoll, 2004).

La dosis necesaria para inactivar microorganismos en el agua depende de la intensidad de la luz, del tiempo de contacto y de la distancia entre la fuente de luz y el agua. El tiempo mínimo de contacto es de 2 seg a una distancia de 2 pulgadas con una emisión de luz de $30,000 \mu\text{Wseg}/\text{cm}^2$ (Hutchinson. 2003).

Se ha encontrado que una dosis adecuada de luz U. V. para poder hacerle daño a los quistes de *G. lamblia* y a los oocitos de *Cryptosporidium* es de $40 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, para aguas residuales y no menor de $16 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ para agua superficial o potable (Volkov y Cols. 2003).

Para determinar la eficacia real de un equipo de U. V. es necesario realizar una curva de dosis respuesta, donde se tengan en cuenta factores como calidad de agua, tiempo de

contacto y flujo, de tal forma que se deje correr dentro del equipo organismos vivos y se pueda ver como los afecta la U. V. (Hargy, 2001).

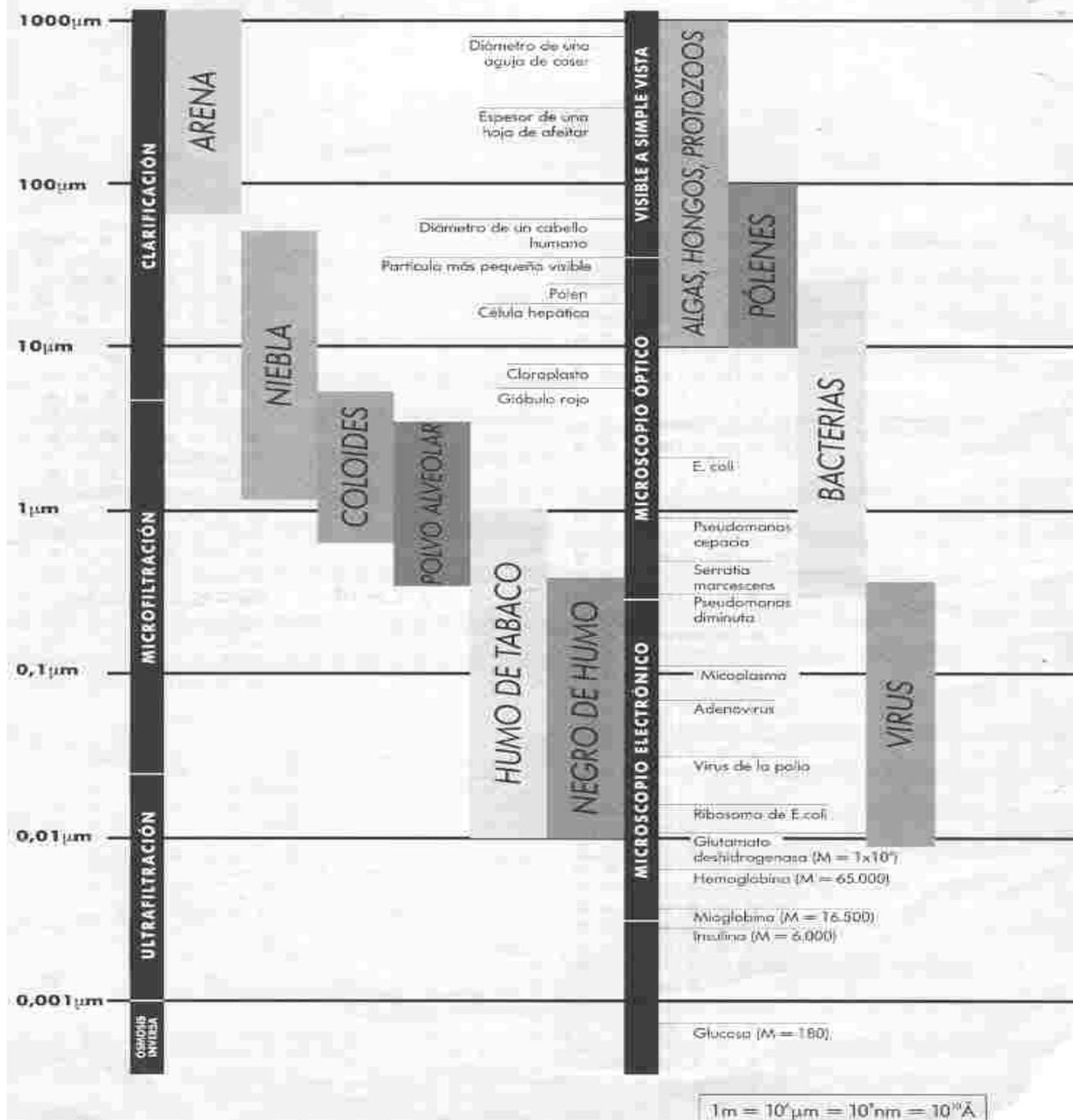
Se debe de tener en cuenta un proceso previo el cual debe ser un proceso de pulido. El cual es para asegurar la eficiencia del equipo y protegerlo de un desgaste prematuro.

5.4. FILTRACIÓN.

Se llama filtración a la acción mecánica en la que se lleva a cabo la remoción de sólidos suspendidos, al pasar el agua a través de un medio poroso. Dependiendo del tamaño del poro muchas partículas no pasan por los intersticios del filtro. (Guime, 2002; CDC, 2004).

La filtración es una operación importante en el pretratamiento de agua, la cual se emplea para consumo humano sobre todo cuando le siguen tratamientos más finos de purificación en los cuales la eficiencia del tratamiento depende de las características del agua de alimentación. En la filtración se elimina toda la materia suspendida presente en el agua para así disminuir la turbidez (figura 5). Los filtros convencionales para remover los sólidos suspendidos del agua pueden ser filtros a presión o por gravedad (Guime, 2002).

Tamaños de partículas y métodos separativos adecuados



Fuente: Millipore, 2001

Figura 5. Tamaños de partículas suspendidas, microorganismos en el agua y los métodos separativos adecuados.

5.4.1. Filtro De Arena.

Los filtros comunes a presión, constan de tanques cilíndricos (verticales u horizontales) conteniendo una cama de dimensiones adecuadas, del material filtrante, esta puede ser arena, grava o bien antracita. El agua entra por la parte superior, pasa a través del lecho filtrante y se recoge por drenes al fondo del tanque (Guime, 2002)

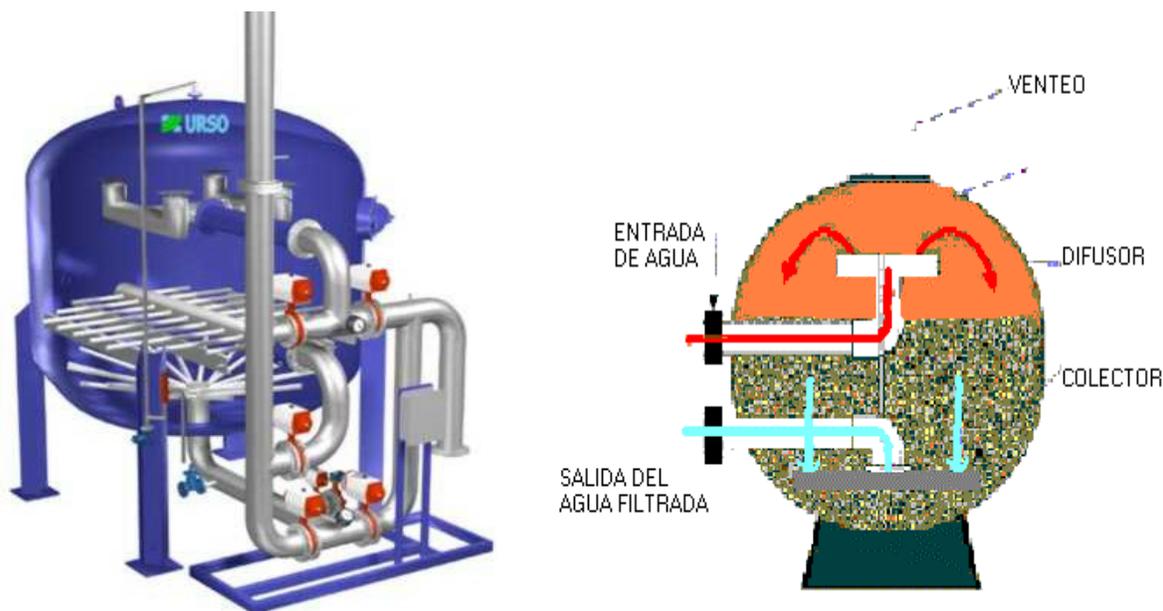


Figura 6. Filtro de arena.

En la figura 6 de la izquierda se muestra la estructura interna y externa de un filtro vertical de presión; A la derecha, se observa el esquema del flujo de agua dentro de un filtro y algunos de sus componentes (El agua entra y es asperjada por arriba después de pasar por el lecho filtrante es colectada por abajo).

Un lecho de medios apilados o de dos capas (medio dual) es una respuesta para proporcionar una filtración de gruesa a fina en un patrón de flujo descendente. Los dos materiales seleccionados tienen distinto tamaño de grano y diferente gravedad específica de 1.6 y un tamaño de grano de 1 mm, se asienta más lentamente que la arena, con una gravedad específica de 2.65 y un tamaño de grano de 0.5 mm, de modo que la antracita de grano grueso descansa sobre la arena de grano fino después del enjuague. En un lecho típico de medio dual, se colocan 20" de antracita encima de 10" de arena, la antracita gruesa permite una penetración más profunda en el lecho y proporciona jornadas de filtro más largas a velocidades mayores de filtración, la arena fina pulvea el afluente. En condiciones normales este medio dual puede producir un afluente aceptable para flujos bajos hasta de 5 gpm/pie² de área de lecho (Perry y Don, 1994).

Tanto los filtros a presión como los de gravedad operan a velocidades de flujo descendentes de 2 a 3 gpm/pie², basado en el tipo de servicio las velocidades de flujo son:

Para la producción de agua potable, eliminación de hierro, tratamiento de agua coagulada y eliminación de color, un flujo de 2 gpm/ pie² normal a 3 máximo. Después de los ablandadores de cal o agua coagulada para la eliminación de cieno un flujo de 3 gpm/ pie²

normal a 4.5 máximo. Los límites máximos indicados deben usarse por periodos cortos, por ejemplo: para filtrar un flóculo mas pesado en lo que otros filtros son retrolavados o están fuera de servicio (Perry y Don, 1994).

Cuando se acumula la materia suspendida en el filtro ocasiona una caída de presión a través del filtro. Esto se mide por la caída de presión (diferencia de entrada y salida) por medio de manómetros colocados en la entrada y salida del filtro. Los filtros limpios tienen normalmente una pérdida de presión de 1 a 2 psi, cuando la presión sube hasta 10 psi bajo condiciones normales de operación, el filtro debe retrolavarse (Powell, 1988).

5.4.2. Filtro De Carbón Activado.

El objetivo de los filtros de carbón activado es eliminar olores, sabores y colores presentes en el agua o que se producen durante la oxidación, así como otros tipos de moléculas orgánicas. El fenómeno de eliminación en el carbón activado es exclusión del tamaño y adsorción, ver figura 7 (Hall y Mogollon, 2001 Kocher y Cols, 2004).

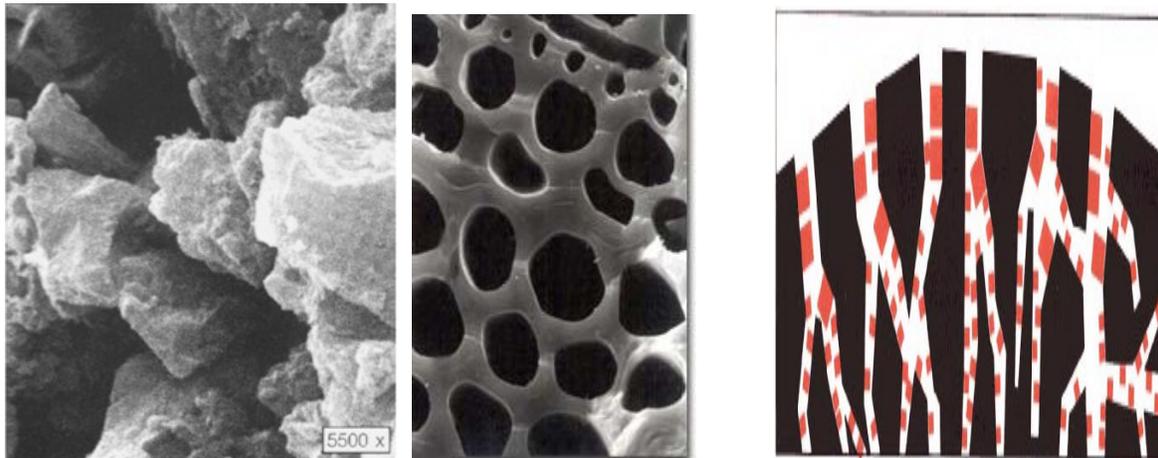


Figura 7 Microfotografía de gránulos de carbón activado (Izquierda) poros del carbón (centro) y esquema donde representa la adsorción dentro del grano de carbón activado (derecha).

Los contaminantes que son eliminados del agua por el carbón activado son (Powell, 1988; Kocher y Cols., 2004):

- Cloro libre
- Pesticidas, DDT y Herbicidas
- Tricloroetileno
- Olor
- Sabor
- Color
- Trihalometanos.
- Compuestos orgánicos provenientes de la descomposición de la vegetación
- Surfactantes y Detergentes
- Aceites disueltos

- Triclorometano y otros compuestos halogenados
- Bifenilos policlorados
- Fenoles
- Benceno, clorobenceno, tricloroetileno, tetracloruro de carbón, cloruro de metileno, cloruro de vinil, tolueno y sus derivados clorados o nitrados
- Compuestos orgánicos no biodegradables
- Compuestos carcinogénicos (por ejemplo: Sulfuro de hidrógeno)
- Algunos metales pesados: Plomo y Radón.

Existen diferentes tipos de carbón activado (Cáscara de coco, coke, hueso), esto depende del material original que le transfiere algunas propiedades particulares, (Tamaño de partícula, tamaño de poro, área expuesta, densidad y dureza) para usos específicos de adsorción y eliminación de contaminantes. Sin embargo no es bueno para eliminar ciertos metales, nitratos, contaminación inorgánica o contaminantes microbianos (Kocher y Cols., 2004).

Un retrolavado regular ayuda a preservar la capacidad de filtración y de dechlorinación del carbón, debe buscarse una expansión de la cama de aproximadamente 30 % con lo cual se evitan incrustaciones y taponamientos por partículas no solubles. Los carbones granulares pueden regenerarse una vez que se saturan. Si el contaminante es volátil, la reactivación se puede llevar a cabo con vapor de agua, dentro del mismo filtro. Si el contaminante no es volátil, la reactivación debe ser térmica o química, por lo que normalmente no es factible hacerla en planta y se requiere hacerla por el proveedor (Powell, 1988; Perry y Don 1994).

5.4.3. Microfiltración

La microfiltración se lleva a cabo generalmente mediante elementos filtrantes llamados cartuchos. Existen dos tipos, los de contacto o superficie, donde el medio filtrante es una capa delgada del lecho filtrante ya sea de celulosa, nitrocelulosa o alguna fibra sintética, y los de profundidad, que como indica el lecho filtrante es una gruesa capa donde el filtrado no se lleva solo en la superficie sino también en la profundidad del mismo (Hall y Mogollon, 2001).

Los filtros cartuchos de microfibras de polipropileno, son compactos y altamente densos, lo que nos mejora la calidad de filtración comparada con filtros de contacto, existen con capacidad de retención nominal (promedio de la abertura de poro) de hasta 0.5 μ , hoy en día se pueden encontrar filtros con capacidades de retención absoluta (abertura total del poro) de hasta 0.1 μ , lo cual incrementa la calidad del agua filtrada, pero aumenta la caída de presión y disminuye el tiempo de vida media de cada cartucho, figura 8 (Guime, 2002).

En los últimos años se han desarrollado tecnologías para crear cartuchos que tengan una muy buena capacidad de retención, una vida media larga, que no generen una gran caída de presión y que sean sustentables. Se han desarrollado filtros cartuchos de profundidad de polipropileno (Figura 8), donde se usan fibras mucho más chicas que crean espacios internos dentro del cartucho, esto gracias al acomodo de las fibras no solo longitudinal sino también de manera transversal, lo que le proporciona grandes ventajas a sus antecesores, como el aumento de espacio dentro de la matriz para una mayor capacidad

de retención. Están formados de manera gradual, es decir la zona más externa le sirve de prefiltro a la siguiente y así sucesivamente. Presentan una menor caída de presión, gracias a su matriz tridimensional tienen un mejor soporte y por lo tanto no requieren de una estructura de soporte como tal (Paulson, 2003).



Tomado de Dow 2002.

Figura 8. Diferentes tipos de filtros cartucho, filtros nominales (Izquierda), Filtros absolutos (Derecha).

5.5. SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA (SOI)

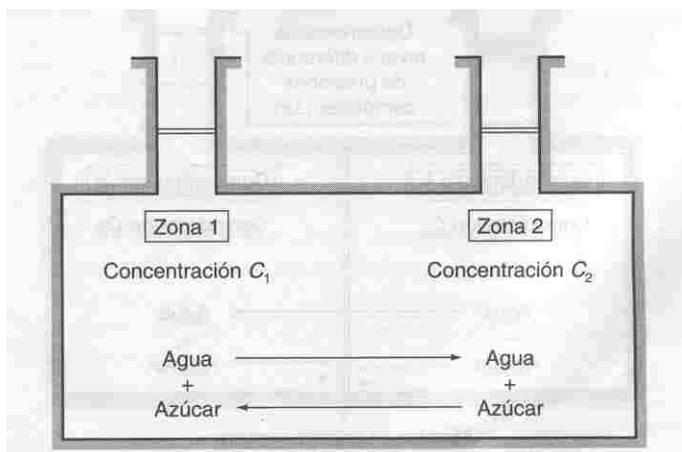
Ósmosis se refiere al paso del solvente de una solución de menor concentración a otra de mayor concentración a través de una membrana semipermeable (Echegaray, 2003).

La ósmosis natural o directa es la disolución de un solvente (normalmente agua) y un soluto formado por uno o varios componentes químicos (sales) en disolución (RG Systems, 2002).

Si colocamos a un lado de una membrana agua pura y al otro lado agua con sales minerales, pasara agua pura hacia el lado de agua con sales, hasta que se equilibren las presiones, la diferencia de altura manométrica entre ambos niveles es lo que conocemos como presión osmótica de la disolución, este es el fenómeno natural de las ósmosis (Fariñas, 1999).

La teoría permitió plantear que pasaría si se aumenta la presión del lado del agua con sales (salobre o salmuera), ya que si se producía el fenómeno inverso, es decir pasa agua limpia del lado salobre al otro, dispondríamos de un sistema para eliminar sales de un agua cargada de las mismas o también para concentrar un soluto que pudiéramos precisar, por lo tanto si aplicamos una presión exterior, superior a su presión osmótica natural a la solución concentrada, fluiría el disolvente, produciendo una concentración de solutos (sales) y en consecuencia conseguiremos disminuir la salinidad de un agua (Kemmer y McCallion, 1992b).

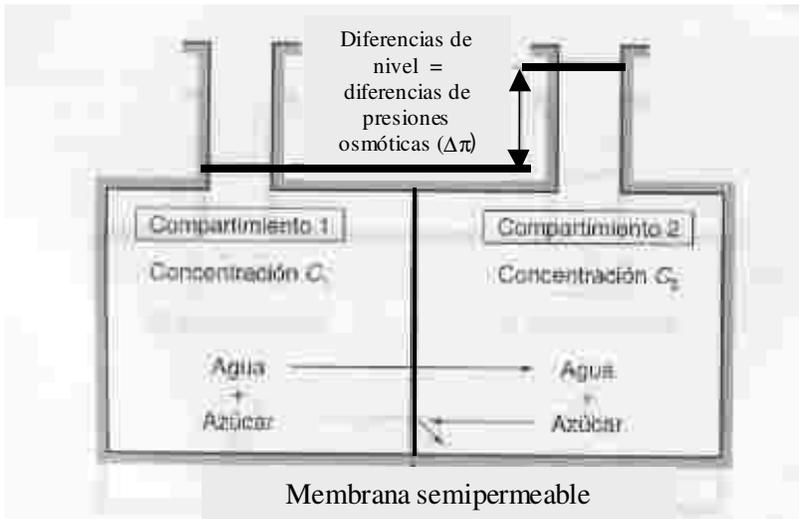
Supongamos un caso sencillo formado por un solvente como el agua y un soluto como el azúcar, dos soluciones a diferentes concentraciones ($C_2 > C_1$) una mayor (Zona 2) que la otra (Zona 1) y estas colocadas en un mismo recipiente (Figura 9). Cuando se coloca en el recipiente ocurre un fenómeno llamado difusión, el cual tiende a igualar la concentración de ambas soluciones. En virtud a lo anterior el azúcar tiende a difundirse de la solución mas concentrada a la menos concentrada, mientras que el agua hace lo mismo en dirección contraria (Fariñas, 1999).



Tomado de Fariñas 1999.

Figura 9 Difusión sin barreras.

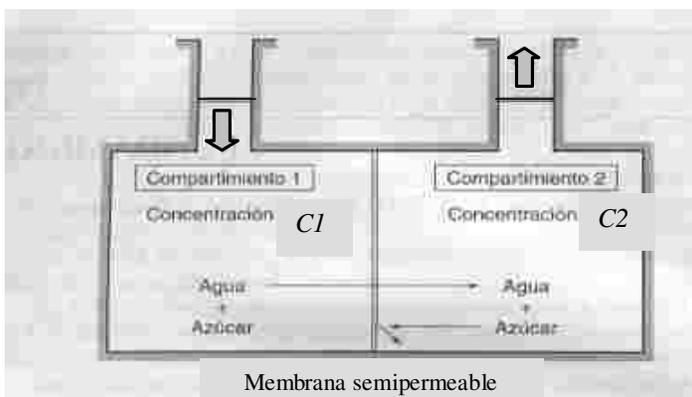
Supongamos ahora que a ese mismo recipiente le colocamos las mismas soluciones pero ahora separadas por una membrana semipermeable, la cual solo dejara pasar el agua impidiendo el paso del soluto. El agua se difundirá en sentido del compartimiento 1 al compartimiento 2, mientras que el soluto (azúcar) no se difunde del 2 al 1 (Figura 10) (Fariñas, 1999).



Tomado de Fariñas 1999.

Figura 10. Difusión a través de una membrana.

La difusión del agua se pararía, como se muestra en la figura 11, cuando la presión generada por el aumento de nivel contrarrestase a la presión que tiende a hacer que el agua se difunda y pase a través de la membrana. A este fenómeno se le llama “Ósmosis” (Fariñas, 1999).

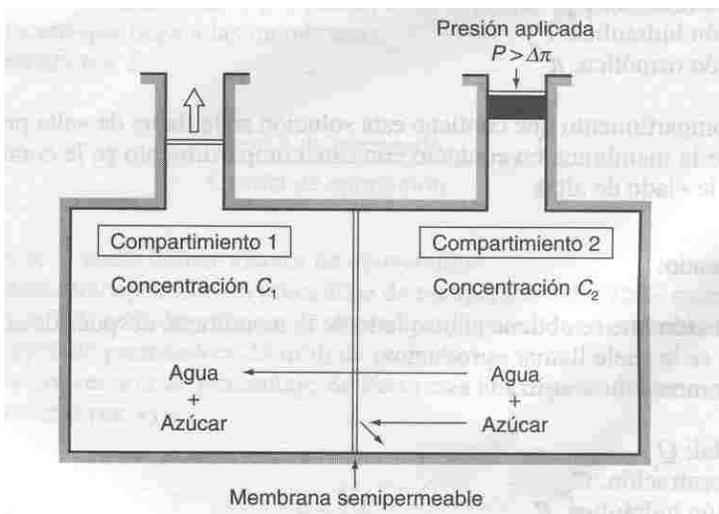


Tomado de Fariñas 1999.

Figura 11 Fenómeno de la Ósmosis Natural.

Si la solución 1 fuese de agua pura ($C_1=0$), a las diferencias de alturas que existirían entre ambos compartimientos cuando se alcanzase el equilibrio, se le llamaría “Presión Osmótica” (π_2) de la solución 2. Si C_1 fuera distinta de 0, la diferencia de alturas cuando se alcance el equilibrio sería igual a la diferencia de las presiones osmóticas de las dos soluciones $\Delta\pi = \pi_2 - \pi_1$ (la diferencia de presiones es igual a la presión osmótica del compartimiento dos menos la presión osmótica del compartimiento uno). La presión osmótica

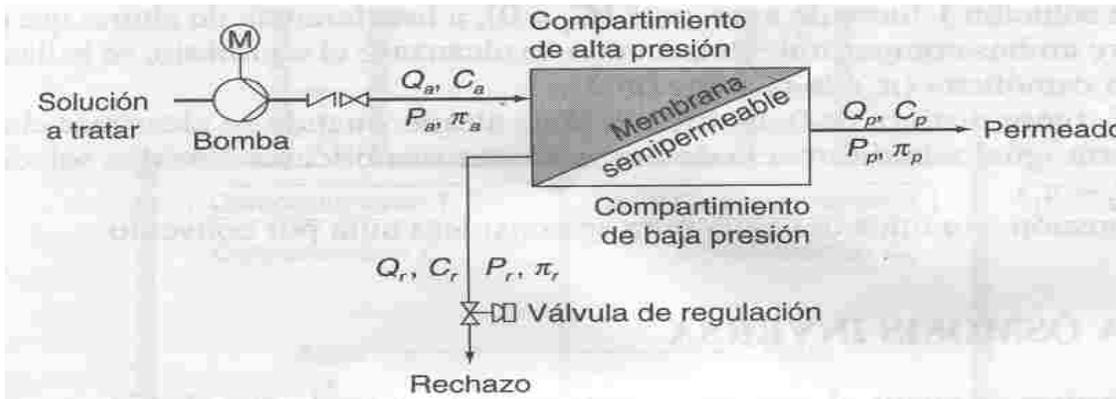
del agua pura se considera 0 por convenio. Si al lado que tenía mayor concentración (C_2) le aplicamos una presión superior a la diferencia de las presiones osmóticas, se observaría que la difusión ocurriría en sentido inverso y que el azúcar seguiría sin poder atravesar la membrana (Figura 12). A esto se le llama “Ósmosis Inversa” (Fariñas, 1999).



Tomado de Fariñas 1999.

Figura 12. Fenómeno de Ósmosis Inversa.
(Aplicando una fuerza mayor que la diferencia de las presiones $\Delta\pi$).

Desde el punto de vista industrial, el proceso se desarrolla como muestra de forma simplificada, la figura 13, una bomba envía la solución a tratar hacia una membrana semipermeable manteniendo una presión elevada en uno de sus lados, con lo que una parte del solvente y una cantidad muy pequeña del soluto atraviesan la membrana. El rechazo presenta una elevada concentración de sustancias disueltas, siendo baja la del producto o permeado, una válvula de regulación situada en la tubería de rechazo controla el porcentaje de la solución que entra y que es convertida en producto (RG Systems, 2002).



Tomado de Fariñas 1999.

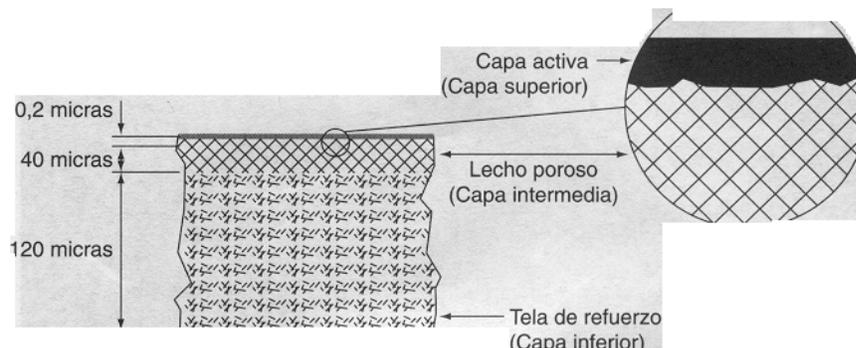
Figura 13 Esquema simplificado del proceso de ósmosis inversa en un SOI desde el punto de vista industrial.

Clasificación de membranas (Fariñas, 1999; Dow 2002).

La clasificación de las membranas que se ocupan en los Sistemas Ósmosis Inversa (SOI) puede ser:

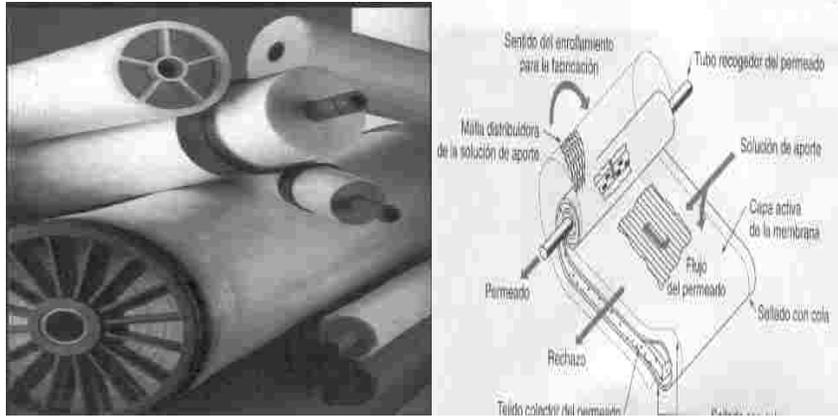
Dependiendo de su superficie:

- *Se dividen en simétricas (homogéneas) o asimétricas.*
- *Según la estructura porosa a lo largo de todo su espesor (figura 14).*
- *Según su naturaleza, en integrales o compuestas de capa fina, si existe o no una continuidad entra la capa activa y el lecho poroso (soporte).*
- *Según su forma, Planas, tubulares, fibra hueca, una vez fabricada (figura 15).*
- *Según su composición Química de la capa activa, Inorgánicas; fabricadas en materiales como cerámicas, vidrios, fosfocenos, carbonos y orgánica; fabricadas de polímeros orgánicos o mezclas de estos como acetato de celulosa, triacetato de celulosa, poliamidas aromáticas, polieter-urea, poliacrilonitrilo, polibencimidazola, polipiperacidamidas, etc.*
- *Según su carga superficial, dependiendo su potencial "Z". Este determina la carga eléctrica existente por unidad de superficie, pueden ser neutras ($Z = 0$), Cationicas ($Z = +$) y Anionicas ($Z = -$).*
- *Según su morfología de su superficie: atendiendo al aspecto de la cara exterior de la capa activa, lisas o rugosas.*
- *Según la presión de trabajo. esto esta definido por las condiciones de operación, en muy baja presión (entre 5-10 bares) baja presión (entre 10 y 20 bares), Media presión (entre 20 y 40 bares) y alta presión (entre 40 y 80 bares).*



Tomado de Fariñas 1999.

Figura 14 Estructura porosa de una membrana (corte transversal).



Tomado de DOW 2002 (Izquierda) y Fariñas 1999 (Derecha).
 Figura 15 Tipo de membranas (Izquierda). Estructura de una membrana espiral (Derecha).

Los equipos nuevos de ósmosis inversa contienen dispositivos de recuperación de energía, utilizan la presión y el flujo del rechazo, bajando los costos y requisitos de energía (Nesicolaci, 2004). También existen equipos pequeños que usan sistemas de fotovoltaaje para lugares donde no se cuente con energía necesaria, estos equipos generan de 100 a 500 l (Joyce y Cols., 2001).

Se debe de tener en cuenta procesos de soporte o previos al S.O.I. como un proceso de dechlorinación ya que el cloro daña las membranas de poliamida y de pulido o microfiltrado del agua para evitar partículas que rasguen la membrana, esto para asegurar la eficiencia del equipo y protegerlo de un desgaste prematuro.

La nanofiltración o ultrafiltración es definida como un método de filtración de flujo transversal, similar a la ósmosis inversa, pero con presiones más bajas, que utiliza una membrana para separar partículas coloidales y moléculas grandes del agua y otros líquidos (Brady, 2003. Sunil 2004). Estos modelos al igual que la ósmosis inversa tiene dos flujos de salida de los cuales solo se usa uno y el otro se desperdicia, por esta razón han existido muchas disputas en el sentido de que es agua muy cara. En Australia se ha usado el recircular este segundo flujo bajando costos y aumentando eficiencias (Mullenberg, 2003).

6. COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE DESINFECCIÓN.

Método	Ventajas	Desventajas
Ozono	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Potencial de oxidación muy alto (2.07 V). ➤ Generación <i>in situ</i>. ➤ No crea subproductos. ➤ Tiempo de contacto medio, tres min a una concentración de 0.24 ppm son suficientes para eliminar quistes de <i>Giardia</i> y <i>Cryptosporidium</i>. ➤ Eliminación de microorganismos de hasta un 99.999 % ➤ Un tanque de contacto de tamaño mediano, donde se logre el tiempo y la concentración adecuada (dependiendo del flujo de la demanda hasta unos 2000-4000 lts). ➤ Destrucción del ozono rápida, de pocos min a un par de horas. ➤ Oxigenación del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Creación de bromatos (si existen bromuros en el agua). ➤ Deja un ligero sabor en el agua que desaparece con el tiempo.
Cloro	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Potencial de oxidación alto. (hipoclorito 1.48 V). ➤ Muy barato. ➤ Fácil de usar. ➤ Eliminación de microorganismos de hasta un 99.9%. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tiempo de contacto muy prolongado, Dependiendo de la demanda del agua varía de unos min a un par de horas. ➤ Requiere grandes tanques para su contacto, dependiendo la cantidad de agua a tratar y el tiempo de contacto (de de unos 200 a 3000 m³). ➤ Creación de subproductos peligrosos (Cloraminas, Trialometanos, ácidos Haloaceticos. etc.). ➤ Su manejo es peligroso. ➤ No mata a todos los microorganismos.

Método	Ventajas	Desventajas
S.O.I.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fácil mantenimiento y manejo. ➤ Dependiendo del tamaño del equipo, se recupera una gran cantidad de agua producto. ➤ El proceso es continuo. ➤ Mejora la calidad fisicoquímica del producto. ➤ Eliminación de microorganismos de hasta un 99.999 %. ➤ Cambio de membranas de 3 a 5 años. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alto costo de manutención. ➤ Se requiere cierto grado de especialización del técnico. ➤ Inversión inicial muy alta. ➤ Se recomienda el uso de sistemas posttratamiento de desinfección ➤ Requiere un pretratamiento.
Filtración	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Proceso continuo. ➤ Fácil manejo. ➤ Mantenimiento muy barato. ➤ Cambio de lecho filtrante cada 4-5 años. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La retención de partículas es muy bajo retiene hasta tamaños de 15 μ. No suficientes para la mayoría de microorganismos.
Microfiltración	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Proceso continuo. ➤ Tamaño relativo u absoluto muy pequeño del poro. ➤ Vida media de hasta 3 meses. ➤ Gran diversidad de tamaños y materiales. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cambio constante de los elementos, Costo. ➤ Exposición a fractura o desprendimiento de material de los elementos. ➤ Genera una gran pérdida de presión.
U. V.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sin residuos tóxicos. ➤ En presencia de O₃ formación de peróxido de hidrógeno (potencial de oxidación de 1.78 V). ➤ Tiempo de contacto corto (segundos). ➤ Efectividad para inactivar virus, protozoos y bacterias mas del 99.999 % ➤ No altera las propiedades físicas, químicas y organolépticas del producto. ➤ Simplicidad del equipo. ➤ No afecta el sabor. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eficiencia afectada por la turbidez del agua. ➤ Funcionamiento del equipo debe de ser al 100 % por que se corre el riesgo de una desinfección reducida. ➤ Reemplazo habitual de los componentes. ➤ Sólidos suspendidos. ➤ Precalentamiento de lámparas. ➤ Peligro del mercurio. ➤ Incrustación de las lámparas.

7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN EN UNA PLANTA MODELO.

El proceso de purificación y de desinfección del agua depende de varios factores, la infraestructura que se tenga, la capacidad que se requiere y sobretodo las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua no tratada o de origen, el proceso va aunado a las características esenciales del agua. Hay varias pruebas básicas que se deben realizar por lo menos anualmente para determinar la base para la necesidad del tratamiento esencial, estas pruebas consisten en la determinación de: Coliformes fecales; nitratos y/o nitritos; dureza, arsénico (si se estuviese cerca de una gasolinera), sulfuro de hidrógeno o metano (si se tuviera olor a huevo podrido), hierro o de bacterias fijadoras de hierro y manganeso. Así el tratamiento completo del agua dependerá de un buen estudio de los resultados de los análisis practicados (Andrew, 2001). En nuestro país existe una norma que explica y sugiere algunos de lo procesos a los que debe de someterse al agua, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “salud ambiental, agua para uso y consumo humano- limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”, la Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2002. Productos y servicios, agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel y la NOM;-012-SSA1-1993, requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados. En las que se describen los procesos a los que debe ser sometido el agua para su purificación y envasado para consumo humano. Además de que en el mercado existen muchos programas (software) que nos indican cuales son los pasos ideales a seguir en un proceso de purificación, existen ciertos procesos que se deben tener en cuenta como soporte de otros, como en el caso de la ósmosis inversa, debe tener un proceso de decoloración y de pulido del agua, o como en el de luz U. V. el cual debe tener un proceso de pulido. Esto para asegurar la eficiencia del equipo y protegerlo de un desgaste prematuro.

Las opciones para el tratamiento de agua deben de considerar costo, tiempo y espacio además del riesgo potencial para la salud y los puntos estéticos de agua (sabor, olor, apariencia). Consecuentemente el tratamiento primario debe de enfocarse en eliminar los principales contaminantes como hierro, dureza y carbonatos, también hay que considerar la frecuencia del mantenimiento y desgaste del equipo que pueden tener un impacto directo en gastos de explotación. Resultando en un equilibrio entre los costos del tratamiento, costos de mantenimiento, reparación y reemplazo. Para lograr la satisfacción del cliente (Bruursema, 2003).

Los procesos más comunes son: Clarificación, Oxidación, Decantación, Filtración (diferentes medios filtrantes), Desmineralización (diferentes métodos), Desinfección (diferentes métodos).

Primer Paso (Clarificación).

La recolección del agua a tratar, ya sea de una toma municipal, de río, mar, alguna fuente natural de agua o de un pozo. Por lo general primeramente pasa por un proceso de floculación, el cual consiste en agregar al agua un floculante que hará que las partículas de material acarreado por el agua (lodos) o del resultado de la oxidación se aglomeren, las cuales coagulan formando flóculos que por su peso precipitan y son separados por decantación, a este proceso en conjunto se le llama clarificación(CDC, 2004).

Segundo Paso (Filtración).

El agua obtenida, ahora debe de pasar por un proceso de remoción de partículas suspendidas que difícilmente puedan precipitar, por medio de la reducción mecánica debido a la exclusión del tamaño, que quiere decir el paso del agua a través de un medio filtrante para disminuir al máximo la carga de partículas. Para esto existen una gran variedad de filtros en cuanto forma, tamaño, capacidad, y lechos filtrantes (hay una gran variedad en cuanto los lechos naturales, sintéticos, mixtos) la selección de estos debe ser de acuerdo con lo que se va a filtrar, la principal suciedad que se va a remover (de esto depende la selección adecuada del lecho filtrante) y la capacidad de los filtros (CDC, 2004). Por lo general se tiene una batería de filtros con el lecho filtrante de arena sílica o arena verde (es lo mas común, mas no lo único), después se tiene una batería de filtros de carbón activado,(las especificaciones depende del uso).

Tercer paso (Desmineralización).

Esta agua por lo general después de la filtración se somete a un proceso, donde se balancea la concentración de sales minerales, esto puede ser por muchos procesos de desmineralización tales como: electrodiálisis, resinas de intercambio iónico, resinas de intercambio catiónico, microfiltración, nanofiltración, destilación, ósmosis inversa, etc. Durante estos procesos se controla la concentración adecuada de sales minerales lo que le proporciona sus propiedades organolépticas específicas al producto (Ávila, 2001), lo que marca la NOM 201-SSA-2002 cuanto a parámetros fisicoquímicos es:

Parámetro	Valores	Unidades
Turbiedad	5	UNT
Alcalinidad	70-120	mg/l
Dureza	30-60	mg/l
Bicarbonatos	70-120	mg/l
STD	120-300	mg/l
Cloro	0-0.9	mg/l

Nota: estos son algunos parámetros o los más representativos.

Cuarto paso (Desinfección).

Una vez obtenido el producto, este debe pasar por procesos de desinfección que aseguren la inocuidad del producto, esto se logra pasándolo por uno o varios procesos esto depende de la infraestructura que se tenga y/o la seguridad que se quiera dar. Por lo general el producto es almacenado en tanques antes y antes de ser envasado debe de pasar por un proceso de decloración ya que aquí se le les agrega cloro para prever algún crecimiento microbiológico, enseguida el agua se le hace pasar por una batería de filtros con carbón activado para declorar el agua ya que el cloro es dañino a la salud.

Quinto paso (Abrillantamiento).

Después se recomienda el paso por filtros pulidores y abrillantadores, que no son otra cosa que filtros cartuchos de 5 a 0.1 μ absolutas, donde son retenidos los finos de carbón, de igual manera los microorganismos como protozoos.

Sexto paso (Aseguramiento).

Después se hace pasar el agua por una lámpara de luz ultravioleta para que se inactiven los microorganismos que pudiese llevar ésta. En muchas embotelladoras el proceso aquí termina y en este paso envasan el agua, pero en otras, antes del envasado pasan el agua por una torre de contacto de ozono para asegurar una mayor desinfección.

lo que marca la NOM 201-SSA-2002 cuanto a parámetros microbiológicos es:

Parámetro	Valor	Unidad
Cuenta Total	5	UFC.
Coliformes Totales	<1.1	NMP
Coliformes Fecales	<1.1	NMP

Nota: estos son algunos parámetros o los más representativos.

Un punto importante a contemplar en la creación de una planta y/o de ampliar una ya establecida son los materiales con los que se va a realizar. Ya que se han encontrado materiales que al son inertes pero con el paso del tiempo y el estrés físico y químico a los que son sometidos pueden producir subproductos tóxicos, tal es el caso del asbesto, PVC, y cobre que crean algunos subproductos como el N-nitrosodimetilamino que se cree es el resultado en los procesos de tratamiento del agua y puede resultar de la interacción del nitrilo, amoniaco y algunos polímeros usados en el tratamiento o de alguna interacción con el cloro (Reynolds, 2000s).

Para evitar el crecimiento microbiológico, es muy importante asegurarnos no tener fuentes de contaminación de nuestro producto y tener sumo cuidado donde el agua esté desprotegida entre los puntos críticos de control, donde el producto es vulnerable a contaminación, se encuentra el siguiente: El producto esta protegido mientras contenga una concentración adecuada de cloro libre residual, pero al pasar por los filtros de carbón donde el cloro es eliminado, el producto puede llegar a contaminarse hasta en este mismo punto. Por eso es muy importante tener un control muy estricto en estos puntos, además de un muy riguroso programa de saneado, el cual nos asegurara que todas nuestras superficies expuestas a nuestro producto estén limpias y libres de contaminantes.

La calidad del agua se puede supervisar por la detección directa de los contaminantes químicos y microbianos como lo demandan las normas y/o regulaciones vigentes. (Reynolds, 2003d).

8. DISCUSIÓN

8.1. NORMATIVIDAD

La Organización Mundial de la Salud (OMS), en su búsqueda de promover la disponibilidad de agua segura, ha publicado guías que establecen los estándares que debe cumplir el agua. el primero, publicado en 1958 se ha ido modificando en el 63, 71, 84-85, 92-97, en donde surgen tres volúmenes que describen las recomendaciones, criterios de salud e información de soporte, vigilancia y control de los abastecimientos de agua, los cuales han sido revisados en los últimos años. En el tercer volumen describe los puntos de supervisión de los indicadores dominantes de la contaminación, estas pautas tratan de prever las enfermedades mediante un riguroso examen de todas las opciones del tratamiento del agua (Reynolds, 2003a; Reynolds, 2004t).

Las guías para la calidad del agua Potable de la OMS están dirigidas principalmente a los reguladores y legisladores de la calidad del agua como herramienta para elaborar normas para la calidad de este vital líquido. Nuevas ediciones son añadidas de forma rutinaria apartada por nueva información lo que hace mantenerse al día en los asuntos tan complejos y variables que enfrentan los reguladores de la calidad del agua, pero hace que examinen todas las opciones de tratamiento incluyendo los sistemas PDU que permiten que las personas asuman responsabilidad por la calidad del agua que consumen (Reynolds, 2004t).

Aunque la mayoría de los estándares para el agua potable se refieren a las cuentas totales microbianas, son pocas las que abarcan los coliformes totales y menos aun las que consideran los coliformes fecales, la USEPA en 1989 publicó el TCR (regla para coliformes totales) el cual no se modificó a la fecha, donde no permite un nivel por arriba de los 5 coliformes totales y ningún coliforme fecal en una muestra. La supervisión continua de estos parámetros a tenido un impacto claro en la disminución de la incidencia en las enfermedades causadas por organismos tales como *Vibrio cholerae* (cólera), *Yersinia enterocolitica* (gastroenteritis), *Shigella* (gastroenteritis), *Listeria* (síntoma como gripe), *Salmonella* (gastroenteritis, tifoideas) y *Campylobacter* (gastroenteritis). Algunos investigadores han detectado como mejores indicadores de contaminación a *Campylobacter* y *Clostridia* (Reynolds, 2003d; Reynolds, 2003u).

El mismo material del cual se encuentran hechos muchas de las unidades de tratamiento de agua potable pueden generar propios contaminantes para la misma agua, como lo son los acrilonitrilos, la USEPA junto con la National Science Foundation (NSF) tiene un valor publicado fijado a 0.6 ppb de acrilonitrilos. Dicho valor, se quiere bajar a una concentración no mayor de 0.06 ppb de acrilonitrilos. (Reynolds, 2004v). Aunque los sistemas PDO y PDU están regulados los estándar de ANSI/NSF constantemente se están reglamentando como es el caso del estándar 55 que corresponde a los sistemas de tratamiento microbiológico con luz U. V.. El cual se ha modificado de su versión anterior en 1991, manejando así nuevas dosis para nuevos indicadores biológicos y nuevas especificaciones que debe tener dicho equipo (Badman, 2001).

La demanda de cloro de un sistema se tiene que verificar para ver que este dentro de los parámetros permisibles y este realizando su función principal de desinfección. En los

Estados Unidos se revisaron en 1998 las concentraciones máximas y mínimas permisibles de los desinfectantes y de los subproductos de acuerdo con el estándar 53 de ANSI/NSF, en el 2000. Pero también se han estado revisando que los equipos (sobretudo PDU) cumplan con la demanda de dechlorinar bajo el estándar 42 de ANSI/NSF “la reducción de cloro”, promoviendo así una agua de buena calidad, olor, sabor y gusto además de libre de microorganismos (Macaulay y Trapp, 2002).

8.2.1 Desinfectantes.

De acuerdo a los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades de Estados Unidos, la desinfección con cloro de los suministros de agua pública es reconocida como uno de los mayores logros en el campo de salud pública del siglo XX (Reynolds, 2002o).

Los agentes químicos usados como germicidas, destruyen al patógeno usando una variedad de mecanismos bioquímicos, incluyendo la destrucción de la membrana de la célula, interferencia de mecanismos vitales o la inactivación de procesos críticos. Los agentes que oxidan (tales como el cloro y el ozono) destruyen típicamente la membrana externa de la célula bacteriana y la hacen no infecciosa. Estos agentes son altamente eficaces contra las bacterias pero moderadamente eficaces con las esporas y algunos protozoos (Reynolds, 2002o).

8.2.2 Resistencia a desinfectantes.

Los microorganismos han desarrollado estructuras especializadas que ayudan a su supervivencia, ciertas bacterias producen un material gelatinoso que es un sacárido que forma una biopelícula o biofilm. Los microorganismos se ayudan de los biofilm para pegarse a las superficies y se protegen físicamente contra la exposición a los desinfectantes y otras condiciones del medio que puedan ser perjudiciales. Los virus asociados a biopelículas pueden sobrevivir de 2 a 10 veces más y resistir unas 3000 veces más cloro que sin ella (Reynolds, 2002q).

Las bacterias formadoras de esporas pueden llegar a sobrevivir a condiciones extremas de calor, frío, sequedad y agentes químicos gracias a la espora que es una forma de célula vegetativa, se ha visto que las *M. avium* resiste 2300 veces más al cloro que la *E. Coli* (Reynolds, 2004w. Anderson y Cols. 2002, Vessoni y Cols. 2002).

La mayoría de los organismos en bio-películas son gram negativos, pueden liberar endotoxinas que serían un alto peligro potencial para la salud humana (Anderson y Cols 2002). Se ha descubierto que existe una liberación de endotoxinas a partir de la lisis con ozono de ciertos microorganismos como las Cianobacterias y el ozono no reduce por completo las toxinas (Hoeger y Cols., 2002). Otros estudios han comprobado que la eliminación de dichas toxinas activas es mejor por métodos más convencionales (Coagulación, Filtración) que por cloro y ozono (Rapala y Cols., 2002). Un estudio realizado por Richa Shivastava y colaboradores demuestra que la bacteria *Pseudomonas aeruginosa* resiste al cloro por más de 30 min a una concentración de 500 µg/l (Richa Shivastava. 2004)

Los protozoarios como *Cryptosporidium* y *Giardia* tienen una etapa de resistencia (quistes) que son resistentes al cloro en bajas concentraciones. A algunos virus también se les ha encontrado resistencia unos más que otros por ejemplo algunos investigadores encontraron que 3.75 mg/l de cloro es eficaz contra poliovirus o rotavirus pero no contra el virus Norwalk, incluso después de 10 mg/l aun resulto ser infeccioso (Reynolds, 2004w).

Los MAC son altamente resistentes a los desinfectantes comunes comparados con bacterias indicadoras como la *E.coli*, los niveles de cloro requeridos para una reducción de 99.9%, son 580- 2300 veces mayores que el del bioindicador, los MAC son también altamente resistentes al monóxido de cloro, dióxido de cloro y al ozono, esto se debe en gran parte a la creación de biofilms. Ciertos procesos municipales convencionales de tratamiento de agua como filtración, coagulación, sedimentación, parecen reducir el número de MAC a niveles muy bajos, pero estos vuelven a crecer en los tanques de almacenamiento y red de distribución (Reynolds, 2001g).

Las bacterias pueden sobrevivir a un deficiente sistema de desinfección o simplemente crear resistencia a los desinfectantes y utilizar los alimentos que están en el agua, dando como resultado crecimiento en el sistema de distribución, como el complejo de *Legionella* y *Mycobacterium avium* que son comunes de aislar en los biofilms y son una preocupación por su efectos en la salud. Este hecho impulsa la necesidad de equipo PDU y la adición de tratamiento múltiple o multibarrera al tratamiento del agua potable (Reynolds. 2004w).

Desafortunadamente la eficiencia del cloro es altamente dependiente de ciertos parámetros de la calidad del agua, como son, pH y temperatura. Además de la combinación del cloro con materia orgánica así como con ciertos contaminantes que pueden formar subproductos potencialmente dañinos de la desinfección, sumado a esto la creciente resistencia de algunos microorganismos patógenos. (Reynolds, 2002r). Las bacterias formadoras de esporas son resistentes a tratamientos con cloro (Vessoni y Cols. 2001)

El tratamiento convencional con cloro es efectivo para eliminar la mayoría de los virus del agua potable, sin embargo; se sabe que muchas variedades son más resistentes. El virus de Norwalk, siguió siendo infeccioso para los seres humanos después de estar expuesto a 3.75 mg/l de cloro con un tiempo de contacto de 30 min (Reynolds, 2003i).

En la reunión general de la Sociedad Americana para la Microbiología (por sus siglas en inglés: ASM) en el verano del 2004, los asistentes resumieron el problema de patógeno-resistencia como “Una batalla perdida” y “las bacterias están ganando”. Mientras una parte de los expositores ofrecía la esperanza de una pronta identificación y rutas de transmisión otros sugirieron nuevas tecnologías para prever las infecciones iniciales. Es mejor prever las enfermedades que tratar de curarlas (Reynolds. 2004x).

8.2.3 Ozono.

La desinfección con ozono proporciona muchas ventajas para producir agua de buena calidad sobre el uso del cloro. El agua embotellada es más estable durante su almacenamiento y esta libre de subproductos así como del olor y sabor. El uso de ozono puede llegar a ser tan eficaz como para tratar parásitos tales como *G. Lamblia* y

Cryptosporidium, además de ser un radical con alto potencial de oxidación, esto proporciona una gran ventaja y su descomposición en un promedio de 24 min a temperatura de 20 °C y pH 7 (Bollyky, 2001). Se ha encontrado que la presencia de carbón orgánico total reduce la capacidad de oxidación del ozono (Hoeger y Cols., 2002)

La desinfección por choque usando productos químicos (por ejemplo gas cloro, sales cuaternarias de amonio) o la eterización por choque con vapor parecen producir los mejores resultados (en cuanto saneado) siempre y cuando pueda tolerarse la interrupción del servicio y la fluctuación en la calidad de agua, ya que con el uso del ozono la desinfección sería constante (Stanley, 2004b).

La búsqueda de métodos que sean 1000 % confiables para poder determinar la eficiencia del O₃ como desinfectante a llevado a Heck y sus colaboradores a desarrollar la Red Neural Artificial la cual mide la efectividad a partir de 6 variable controladas, este método se esta comparando con los usados por la USEPA (Heck y Cols., 2001).

La USEPA a señalado un factor "CT" de concentración (mg/l) por tiempo (min) de 0.72 de ozono a 20 °C para desactivar 99.9 % de los quistes de *Giardia lamblia* y mas del 99.9 % de los virus entéricos. Lo que es igual a 0.24 mg/l de ozono residual disuelto, por tres min. Los europeos utilizan como regla de oro para la desinfección de agua potable 0.24 mg/l sostenido por 4 min lo cual equivale un CT de 1.6 (Albicker, 2001 Albicker, 2002).

Otros estudios han demostrado que se necesita un tiempo de 10 min a una concentración de 2.5 mg/l O₃ para eliminar una suspensión de *Streptococcus feacalis* ATCC10541, *Staphylococcus aureus* ATCC29213 y *Candida albicans* ATCC10231 de 10⁴ – 10⁶ (Lezcano y Cols., 2001).

Aunque son muchos los factores que influyen en una buena solubilidad del ozono en el agua y afectan directamente a su eficacia, es bueno determinar el CT que se maneja para cada sistema para saber la eficacia que se tiene ya que se ha demostrado que una variación en el pH de 6.0 a 9.0 afecta un CT de 0.5 en su eficacia (Gabe, 2003). También se ha encontrado una reducción de 3 log 10 dentro de un tiempo de contacto de 3.5 mg/l de ozono durante 5 min de los virus Norwalk, Poliovirus 1, Coliofagos entéricos MS2 que son causantes de gastroenteritis (Gwy-am y Mark, 2003)

El adicionar cloro al agua antes de pasar por el procesos de desinfección por ozono disminuye la creación de bromuros (Albicker, 2002). Ya que estos compuestos pueden potenciar el brote de cáncer(Nicholas, 2004b).

Procesos sinergisticos (cavitacion hidrodinamica y ultrasonificación) reducen a la mitad o una tercera parte la concentración requerida de ozono (K. K. Jyoti y Pandit, 2004).

8.2.4 Luz U. V.

En Europa, en donde las autoridades prefieren evitar los tratamientos químicos que pueden afectar al ambiente, la luz U. V. se ha utilizado en la desinfección del agua por mas de 30 años (Ibson, 2001).

La luz U. V. que mejor ataca o tiene un mejor efecto sobre el ADN es la longitud de onda de 254 nm generada por emisores monocromaticos (de baja presión), los emisores multionda (presión media) proporcionan el intervalo completo del espectro U. V., altera las enzimas del citoplasma y proteínas de la pared celular (Díaz y Serrano, 2001), la USEPA en estudio realizados durante el 2000 y 2002 indican que hay un reducción del 3 log (99.9 %) con luz U. V. de 6000 $\mu\text{W}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$, por lo que se recomienda con el uso de otro método para formar una barrera reducción de carga microbiana (Siddiqui, 2004).

En algunos estudios se determinó una dosis eficaz contra *Cryptosporidium* de 150 min, algo impracticable en líneas de producción, estudios más recientes han demostrado que usando luz de media presión (19 mJ/cm^2) y los análisis animales de contagiosidad han expuesto una reducción de 3.9 log y sistemas de baja presión a dosis bajas (3 mJ/cm^2) han manifestado ser igualmente eficaces con una reducción de 3.4 y 3.0 log, se considera que una irradiación con U. V. de hasta 15 $\text{mW}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$ puede hacer inactivo al virus de la hepatitis A y que incluso dosis más bajas parecen alcanzar la misma inactivación para *Cryptosporidium* (Reynolds, 2002r).

La irradiación no solamente es absorbida por el ADN sino también por algunas de las proteínas asociadas a este. Estas características pueden causar resultados variables con la eficiencia de desinfección entre diversos organismos. Los virus con ARN como los polivirus, son mucho más susceptibles a la irradiación con U. V. que los que poseen ADN como los adenovirus entéricos. Además algunas bacterias y posiblemente algunos adenovirus son capaces de reparar de manera directa o indirectamente el daño causado por la irradiación. Este fenómeno es viable y es conocido como Fotoreactivación y ocurre regularmente después de la exposición a la luz del sol, el grado de reactivación varía dependiendo del microorganismo, parece ser que este fenómeno no afecta la contagiosidad de *Cryptosporidium* (Reynolds, 2002r; Siddiqui, 2004).

La utilización de irradiación con luz U. V. tiene muchas ventajas como lo son: que no se agrega al agua ningún reactivo químico, no se altera la composición fisicoquímica y no afecta al gusto ni a la apariencia del producto. Los parámetros como pH, temperatura, alcalinidad y carbón inorgánico total no afectan su eficacia. Además de que no se requiere de tiempos largos de contacto, ni tanques de almacenamiento. Pero si existe presencia de materia disuelta ó suspendida, algunos productos químicos orgánicos ó inorgánicos suspendidos, la turbiedad, el color y hasta aglomeraciones de microorganismos ó la formación de biofilms puede reducir su eficacia (Reynolds, 2002r).

Los niveles de exposición a luz U. V. para desactivar los quistes de protozoos son muy bajos; menos de 10 000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$, para lograr una reducción del 99.99 % tanto de *Cryptosporidium parvum* como *Giardia lamblia*, ofreciendo una desinfección mas efectiva que los procesos químicos para la reducción del bacterias y virus de un 99.99 % (Pérez de Caso, 2002). Los niveles a 253.7nm aplicados por un mínimo de 16, 000 $\text{mW}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$ cubre todos los puntos de trabajo de desinfección del agua (Siddiqui, 2004).

No se ha detectado ningún microorganismo infeccioso en aguas residuales después de tratar el agua con U. V. a una dosis de 40 mJ/cm^2 (Volkov y Cols.,2003)

El uso de agentes oxidantes como el Cl, O₃, peróxido, etc. a la larga generan radicales OH que son peligrosos, el uso de TiO₂ no genera este subproducto ya que es fijado con luz

U. V. esta nueva tecnología esta todavía en un proceso de prueba, mostrando buenos resultados en la eliminación del bacilo del Ántrax (Armon y Cols., 2002).

8.2.5 Filtración.

Los patógenos entéricos comprenden tres grandes grupos principales (virus, bacterias y protozoarios), y cada grupo resulta tan diverso con respecto a su tamaño y características fisicoquímicas. El desarrollo de un método universal de filtración adecuado para la concentración de estos patógenos ha sido un reto, ya que los virus tienen un tamaño de 20 a 250 nm (0.02 a 0.25 μm), las bacterias de 0.2 a 5.0 μm y los protozoario de 0.5 a 100 μm . Después de la filtración existe una gran variedad de opciones para la detección temprana de patógenos específicos, incluyendo metodologías de cultivo, microscopía, métodos inmunoquímicos y métodos moleculares (Reynolds, 2004n, Carey y Cols., 2004).

Para poder desarrollar nuevos equipos que realmente sean eficientes se han necesitado estandarizar metodologías de prueba, donde se utilizan sustitutos de microorganismos que sean inertes al ser humano, esto para evitar riesgos a los investigadores. Tal es el caso del estándar 53 del NSF “la disminución de quistes por exclusión de tamaño”, hace años no existían métodos para detectar y cuantificar quistes de protozoarios conocidos como *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Toxoplasma* y *Entamoeba*, se determinó como los quistes de *Cryptosporidium* los mas pequeños con un radio de 3 - 7 μ , ideales para aprobar bajo el estándar 53 “la reducción mecánica debido a la exclusión del tamaño”, para tal caso se desarrollaron las microesferas de poliestireno de 3 μ las que se utilizan con eficacia como sustitutos de quistes por su tamaño y por su seguridad ya que emiten luz fluorescente haciéndolas fáciles de detectar. Los mejores sustitutos son no patógenos y los que se pueden trabajar con seguridad, como es el caso de los colifagos PRD1 y MS2 que se usan para determinar la eficacia de la filtración y de la U. V. para el caso de compuestos virales (Andrew, 2003a).

En otros trabajos se determinó que los mejores métodos de eliminación para los quistes *Giardia* y oocitos de *Cryptosporidium* son los métodos basados en membranas, este trabajo se realizó con membranas de Nitrocelulosa y Celulosa con apertura de poro de 3.0 y 1.2 μm (Shepherd y Wyn-Jones, 1996).

Los filtros de lechos múltiples pueden operar por periodos mas largos antes que requerir limpieza que los de lecho sencillo, además que los de lecho múltiple son mas adecuados para sistemas a presión en tanques cerrados, para los filtros cartuchos los materiales son muy variados (polietileno, polipropileno, carbón activado, celulosa, poliéster, resinas, algodón...) generalmente están instalados en puntos de uso (PDU) ya que producen un a gran pérdida de presión y su costo de reemplazo es elevado (Guime,2002).

El uso de filtros cargados con carga eléctrica puede retener virus con carga opuesta (Reynolds, 2003i).

Los filtros de plantas de aguas residuales pueden sostener poblaciones de protozoarios de hasta 5×10^{104} células por mililitro de lodo activado donde ayudan al retiro de partículas y reducción de bacterias (Reynolds, 2002h).

En el agua pueden ser filtrados los oocistos de *Cryptosporidium* y los quistes de *Giardia lamblia* utilizando filtros de poro absoluto de muy bajo micraje además de que son separados por las membranas de nanofiltración u ósmosis inversa (Reynolds, April 2002).

El gran desafío en las industrias farmacéuticas es el control microbiológico, en aguas con baja conductividad, existen varios métodos para bajar dicha conductividad pero ninguno tan eficiente en el control de cuentas microbianas como la ósmosis inversa de doble paso (Grela, 2002a; Grela, 2002b).

El uso de cloro afecta gravemente el flujo permeado en ultrafiltración y ósmosis inversa pues cambia las propiedades del agua además de dañar las membranas (Tae-Wook and Sang-June 2004)

8.2.6 Barrera múltiple.

Aunque la USEPA y la OMS recomiendan el uso de sistemas de barrera múltiple, en el mercado existen un sin fin de equipos que están diseñados y aprobados para su uso individual y el que se coloque junto con otro equipo, no quiere decir que mejore la calidad del agua, los dispositivos deben de verificar su compatibilidad con otros (Sniezek, 2003).

En recientes investigaciones se ha encontrado una efectiva eliminación de patógenos en la combinación de un proceso de desinfección químico con la filtración, también estas investigaciones arrojaron que *E. coli* no es un buen indicador de contaminación microbiológica ya que existen bacterias formadoras de esporas resistentes y estas son las que se deberían de usar (Botzenhart, 2001) como la *E. Cloacae* y *S. marcescens* (Vessoni y Cols. 2001) En recientes trabajos se han determinado que los desinfectantes de uso convencional (Cloro, U. V. y O₃) tienen un buen espectro antimicrobial y dan buen resultado para la salud pública (Cozad y Jones, 2003).

El uso de sistemas de tratamiento del agua, ya sea del tipo PDO o PDU, ayuda a mantener ausentes en el agua algunos contaminantes tóxicos o dañinos, como el perclorato (ClO₄⁻), del cual se sabe poco, la USEPA (Agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos) aun esta fijando la concentración mínima para el agua potable. Aunque el Estado de California lo fijaría en 2 - 4 µg/L. (Andrew, 2003a).

Los protozoos son resistentes a los desinfectantes convencionales del agua, además de tener una amplia gama de rutas de transmisión incluyendo el agua, alimentos, vectores. La supervisión directa de *Cryptosporidium* es costosa y los indicadores bacterianos no pueden predecir la presencia de los patógenos, el tratamiento de aguas municipales solamente ha probado ser inadecuado para la protección de individuos altamente susceptibles a patógenos protozoarios. Hay una gran necesidad del uso de la desinfección eficaz (Ultravioleta y Ozono) y del desarrollo adicional de métodos para la inactivación como la ósmosis inversa o el uso de dispositivos PDO aprobados por ANSI/NSF estándar 53 (tamaño de poro de 1 µm o menos) (Reynolds, 2002h). Ongerth y sus colaboradores recomiendan el uso de sistemas múltiples para prever la giardiosis ya que muchos de los dispositivos no eliminan por completo el quiste y tampoco los tratamientos con cloro (Ongerth, 1989).

Las bacterias HPC (*por sus siglas en ingles Heterotrophic Plate Count*), son bacterias de requerimientos muy sencillos, pero que casi siempre estarán presentes en el agua, se les ha llegado a encontrar en el aire, agua y en alimentos (frutas, carnes, quesos yogur, leche pasteurizada, etc). Estudios recientes han demostrado que las HPC son una barrera natural para bacterias entericas patógenas, puesto que su existencia en los dispositivos PDU /PDO, han disminuido la incidencia en personas que los utilizan (Reynolds, 2003m). También el que se sepa de la existencia de las bacterias HCP y no se conozca con certeza su inocuidad y que probablemente no requieran una regulación resulta muy interesante, nos recuerda que todavía tenemos que tratar con muchísimos otros patógenos que hoy no se conocen (Cartwright, 2003).

Para poder determinar la calidad del agua en cuanto el contenido de protozoarios es necesario tener nuevas técnicas de cultivo celular que sean equivalentes a las pruebas con animales, para determinar su contagiosidad (Reynolds, 2002r).

Se ha encontrado que el uso de sistemas de PDU reduce de gran manera el riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales por ingerir agua contaminada (Reynolds, 2004v).

Se han diseñado equipos de fácil mantenimiento y manejo para el uso de ellos en comunidades pequeñas y aisladas donde el riesgo de tomar agua contaminada es bastante común y muy alarmante (Álvarez, 2003).

Los sistemas de PDU ofrecen una protección adicional al tratamiento municipal, ofreciendo una baja en los brotes de infección. En estudios realizados en Canadá señalan una reducción de hasta 38 % de brotes de infecciones para personas con sistemas PDU que las que no lo tienen (Reynolds, 2004y).

Cabe recalcar que existen otras muchísimas técnicas para la desinfección del agua como por ejemplo hervir el agua es una opción individual para las casas, sin ningún valor agregado, aunque el uso de energía es elevado no produce agua bebible inmediatamente y puede concentrar algunos contaminantes (Hutchinson, 2003; CDC, 2004). También se puede recurrir al uso de la luz solar, con exponer el agua dentro de un recipiente transparente a la irradiación solar, este método se ha estado usando con eficiencia para la desinfección del agua en África y está aprobado por South African Water Quality Guidelines (SAWQG) (Meyer y Reed 2001; CDC, 2004).

8.3. CONTAMINANTES NO BIOLÓGICOS.

El uso de filtros o prefiltros de carbón activado al sistema de ósmosis inversa, ayuda a incrementar la eficiencia en la remoción de algunos elementos como el fluor, mercurio y cromo (Herman, 1999). La formación de ácidos haloacéticos (HAAs) por percloración de agua en los sistemas de tratamiento resulta ser peligrosa, aunque procesos convencionales remueven los HAAs en baja proporción, el carbón activado es capaz de eliminarlo del 49-86 % (Li y Cols., 2001). Está comprobado que el exceso de cloro es tóxico en su forma basal y en asociación con algunos compuestos orgánicos contenidos en el agua se generan formas oncogénicas como los THM o Cloraminas. (Díaz y Serrano 2001).

El sistema de ósmosis inversa y el de destilación también son muy eficaces en la reducción de elementos dañinos como el cromo (Dammyer y Herman, 2001). La tecnología de la destilación replica el ciclo hidrológico. Esta tecnología sobrepasa a la O.I. por quitar mas impurezas y microorganismos (Kucera, 2004).

Los sistemas PDU pueden ayudar a tratar el arsénico pero la mejor opción es el uso de sistemas de ósmosis inversa (Reynolds, 1999z; Andrew, 2003c). El uso de sistemas PDU pueden ayudar en la eliminación de THS y HAAs, (Gibbson y Laha, 1999).

La USEPA ha determinado que los fabricantes de DWTU deben de proporcionar una reducción de los acrilonitrilos a concentraciones por debajo de 6 ppb ya que estos según la FDA pueden causar cáncer (Reynolds, 2004v).

A principios de los años 1900, se inició con procesos de cloración de los suministros de agua potable en las naciones desarrolladas, seguido por una reducción drástica en las epidemias de enfermedades bacterianas, eliminando virtualmente la tifo y el cólera. A pesar que el cloro presenta muchos beneficios para la salud pública y el tratamiento de agua, en estudios recientes de un par de décadas al día de hoy, indican que puede existir una relación casual entre la desinfección del agua con cloro y la salud reproductiva o fetal. Otros estudios han indicado que el consumo de agua tratada con cloro puede traer consigo efectos negativos a largo plazo. Este problema surge cuando se le añade cloro a agua con contenidos de materias orgánicas naturales, como los ácidos húmicos y fúlvicos, el cloro reacciona con estos ácidos formando subproductos como trihalometanos: Cloroformo (CHCl_3), bromoformo (CHBr_3) bromodiclorometano (CHCl_2Br) y Clorodibromometano (CHClBr_2) y otros compuestos como los ácidos haloacéticos y los ácidos haloacetnitrilos. Los cuales se han relacionado con daño a las funciones reproductoras, embriopatías, fetopatías post parto y desarrollo de cáncer. (Reynolds, 2002o).

9. CONCLUSIONES.

- El tratamiento con cloro si bien es un desinfectante de amplio espectro y muy económico tiene el inconveniente de formar subproductos de la desinfección que pueden ser dañinos para la salud.
- La USEPA y la OMS entre otras asociaciones, han considerado actualmente la irradiación con luz U. V. como una importante barrera microbiológica e importante componente dentro de un sistema de tratamiento de barrera múltiple.
- El agua embotellada esta hoy día en segundo lugar de ventas globales en bebidas suaves, de ahí su importancia de que se sometan por procesos que aseguren una buena desinfección como lo son la luz U. V. y el Ozono.
- Se cree que los costos médicos y la mejora en el bienestar de una población exceden grandemente los costos potenciales de la inversión inicial en el tratamiento de aguas, además de la aparición creciente de microorganismos resistentes a fármacos sugiere la necesidad de una mejoría en el tratamiento y desinfección de aguas para prever la infección inicial.
- El tratamiento avanzado del agua con tecnologías como la ósmosis inversa, luz U. V. y Ozono, puede reducir satisfactoriamente la presencia de virus, bacterias y protozoos hasta en un 99.99 % en el agua potable.
- La tecnología de filtración día a día se desarrolla ofreciendo una mejor calidad del filtrado, siendo mejor la retención de microorganismos y sustancias no deseadas en el agua. Las tecnologías de filtrado por membrana y ósmosis inversa están en una etapa de desarrollo de nuevas membranas que mejoran el espectro de separación de sustancias en el agua.
- El uso de sistemas Punto de Uso o Punto de Entrada pueden ayudar a mejorar la calidad de vida de los usuarios.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Agolini, G; Melissari, G; Elice, I; Raitano y A; Gemitì, F. 2001 (April). The use ozone in water and air disinfections. *Ingiene Moderna*. **115**, (4): 213-281.
- Aguamarket 2003 (Noviembre). El tratamiento domestico del agua es la clave para evitar enfermedades. www.consumaseguridad.com
- Albicker, Carlos A. 2001 (Mayo-Junio). Desinfección efectiva de agua embotellada con ozono. Nivel avanzado. En: *agua Latinoamérica*. 22-25.
- Albicker, Carlos A. 2002 (Septiembre- Octubre). El Ozono y la formación de bromatos. Nivel avanzado. En: *agua Latinoamérica*. 30-36.
- Álvarez, Dimas 2003 (Noviembre-Diciembre). Agua de consumo en las comunidades rurales de Panamá. El agua Cuenta. En: *Agua Latinoamérica*. 14-15.
- Anderson, WB; Slawson, RM. y Mayfiel, Cl. 2002 (July). A review of drinking- water- associated endotoxin, including potential routes of human exposure. *Canadian Journal of Microbiology/ Review Canadienne de Microbiologie*. **48** (7):567-587.
- Andrew, Rick. 2001 (December). Water wells and unique treatment needs. *Water Conditioning & Purification*. **43**(12).
- Andrew, Rick. 2003a (May). Microbiological water purifier testing- the quest for surrogate organism. *Water Conditioning & Purification*. **45** (5).
- Andrew, Rick. 2003b (July). Perchlorate- New countaminant reduction claims for DWTU standards. *Water Conditioning & Purification*. **45**(7).
- Andrew, Rick. 2003c (October). Arsennic and the ANSI/NSF drinking water treatment unit standards. *Water Conditioning & Purification*. **45**(10):48- 50.
- Armon, R; Welch-Cohen, G y Bettane, P. 2002. Desinfection of *Bacillus* spp. Spores in drinking water by TiO₂ photocatalysys as model for *Bacillus anthracis*. *Waterborne pathogens. Water Science & Technology: Water Supplí*. **4**(2):7-14.
- Ávila, Joseph A. 2001. (Marzo). Lo esencial acerca del intercambio iónico, *Agua Latinoamérica*. **1**(3):27-29.
- Azcarreta, Oscar. 2003. (Marzo_Abril). El futuro de nuestra industria sin duda es el ozono. *Agua Latinoamérica*. **3** (2). www.agualatinoamerica.com.
- Badman, Lorna. 2001. (June). Proposed Changes to ANSI/NSF standard 55 – ultraviolet microbiological water treatment systems. *Water Conditioning & Purification*. **43**(6).
- Barnes, R. D. 1993. Platelmintos. En: *Zoología de los Invertebrados*. Ed. Interamericana McGraw Hill. 5° ed. México. 210-211.
- Beuret, Christina; Kohler, Dorothe; Baumgartner, Andreas and Lüthi, Thomas M. 2000. Norwalk-like virus sequences in mineral waters: one year monitoring of three brands. *J. Epidemiol Community health*. January; **54**:45-51.
- Bollyky, Joseph. 2001 (October). A brief history of the role of ozone in water botting. *Water Conditioning & Purification*. 62 -65.

- Botzenhart, K. 2001 (May). Process for Eliminating Viruses from Water. GWA: Gsa, Wasser, Abwasser. **2001**(5):313.
- Brady, Francis B. 2003. (Enero-Febrero). Tratamiento de aguas residuales por ultrafiltración en operación de lote modificado. Agua Latinoamérica. 38-41.
- Bruursema, Tom. 2003. (August). Water treatment in food service establishments. Water Conditioning & Purification. **45**(8).
- Carey, CM; Lee, H y Trevors, JT. 2004 (February). Biology, persistence and detection of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* oocyst. Water Research. **338**(4):818-862.
- Cartwright, Peter. 2003 (May). HPC bacteria issues and their effect on the POD industry - Analysis. Water Conditioning & Purification. **45**(5).
- Castro, Ernesto. 2003. (Marzo – Abril). Principios de control microbiológico con Oxidantes. Agua Latinoamérica. **3**(2). www.agualatinoamerica.com y www.osmonics.com.
- CDC. Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. 2004. (19-Agosto). Manual del sistema de agua segura. <http://www.CDC.orv/CDC> en español manual de sistema de agua segura.
- Choppin, G. R. y Summerlin, L. R. 1993. Química. Ed. Publicaciones Cultura, ed 13. México. pp 8,17, 327-329.
- Cosgrove, William J and Connor Richar. 2003. (January). World spotling: water – a central issue at the world summit on sustainable development. Water Conditioning & Purification. **45**(1).
- Cozad, Ann BS y Jones, Rhonda D. BS. 2003. (June). Desinfection and the prevention of infections disease. American Journal Infection Control. **31**(4): 243-254.
- Dammyer, K. and Herman, Rob. 2001 (August). Chromium: the risk and the fix. Water Conditioning & Purification. **43**(8).
- Díaz, D. F. y Serrano, L. O. 2001. (10-Noviembre). Desinfección del agua con luz ultravioleta. Agua Latinoamérica.http://mx.geocities.com/agua_cosmos/articulos.htm.
- Dow Chemical Company. FILMTEC. 2002. (April). Membranes. Published <http://www.filmtec.com>
- Echegaray, Ruben. 2003 (Mayo). Ósmosis inversa. B'viendo, revista para los fabricantes de bebidas. **5**(56):15 20.
- Fariñas Iglesias, Manuel. 1999. Ósmosis Inversa. Ed. McGraw Hill. Ed. México. pp 1-10.
- Gabe, Ergler. 2003 (May). Successful treatment using ozone in residential potable water systems. Water Conditioning & Purification. 32-38.
- Gaffield, Stephen J.; Goo, Robert L.; Richards, Lynn A.; and Jackson, Richard J. 2003 (September). public health effects of inadequately managed storwater runoff. American journal of health,. **93**(9):1527-1533.
- Gemex. 1984. Grupo Embotellador de México. Electropura, Planta Tlalnepantla, Manual de control de calidad. Tomo 1.
- Gibbson, J y Laha, S. 1999. Water purification systems: a comparative anlysis bases on the occurrence of desinfection by products. Enviromental pollution. **106**(3):425-428.
- Gortáez, P. M. y Naranjo, J. E. 2001. (Septiembre-Octubre). Enfermedades propagadas por el agua, patógenos emergentes y reglamentos Mundiales del agua potable. De la llave. En Agua Latinoamérica. 30 32.

- Grela, Jorge. 2002a (Julio-Agosto). Ósmosis inversa de doble paso y el mercado farmacéutico en la Argentina, una de dos partes. Nivel intermedio. En: agua Latinoamérica. 25-28.
- Grela, Jorge. 2002b (Septiembre-Octubre). Ósmosis inversa de doble paso y el mercado farmacéutico en la Argentina, dos de dos partes. Nivel intermedio. En: agua Latinoamérica. 26-29.
- Guime, Fernando. 2002 (Septiembre-Octubre). Filtración de sólidos suspendidos. Nivel básico. En: Agua Latinoamérica. 20-25.
- Gwy-am Shin and Mark D. Sobsey. 2003 (July). Reduction of Norwalk Virus, Poliovirus 1, and Bacteriophage MS2 by Ozone disinfection of water. Applied and environmental microbiology. **69**(7):3975-3978.
- Hargy, Thomas. 2001. (June). U. V. evaluating ultraviolet light reactor performance – utilizing bioassay. Water Conditioning & Purification. 28-32.
- Hall, W. E Sr. CWS-VI y Mogollón, C. D. 2001 (Septiembre–Octubre). Presentación fundamental sobre tratamiento de agua. Agua Latinoamérica. 17-21.
- Heck, SL; Ellis, GE y Hoermann, V. 2001. Modeling the effectiveness of ozone as a water disinfectant using an Artificial Neural Network. Environmental Engineering Science. **18**(3).
- Herman, Rob. 1999. (June). Pre-filters may affect RO removal of fluoride, mercury and chromium. Water Conditioning & Purification. 1-2.
- Hoeger, SJ, Dietrich, DR; Hitzfel, BC. 2002 (November). Effect of Ozonation on the removal of cyanobacterial Toxin during drinking water treatment. Environmental Health Perspectives. **110**(11):1127-1132.
- Hutchinson, Mark. 2003. (January). U. V. selling disinfection to the public. Water Conditioning & Purification. 30-33.
- Ibáñez, M. G. 2000. Ecología del agua. www.monografias.com
- Ibsen Lyn. 2001. (June). U. V. Walkathon case study—shedding new light on water treatment. Water Conditioning & Purification. **43**(6).
- Joyce, A; Loureiro, D; Rodríguez, C y Castro, S. 2001. (May). Small reverse osmosis units using PV systems for water purification in rural places. Desalination. **137**(1-3):39-41.
- Kaijina, M; Morizane, K; Umetani, T y Terashama, K. 1997. Odors arising from ammonia and amino acids with chlorine during water treatment. Off-flavours in the aquatic Environment. **40**(6):107-114.
- Kemmer, F. N. y McCallion, John. 1992a. Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. McGraw- Hill. México. Tomo I Capítulo 1. La molécula del agua. 1-1 –1-5.
- Kemmer, Frank N. y McCallion, John. 1992b. Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. McGraw- Hill. México. Tomo II Capítulo 15 Separación mediante una membrana. 15-1 –15-11
- K. K. Jyoti and A. B. Pandit. Ozone and Cavitation for water Disinfections. Biochemical Engineering Journal. 2004. **18**(1) 9-19.
- Kocher, Jordi; Dvorak, Bruce and Skipton, Sharon. 2004. (June). Drinking water treatment: Activated Carbon Filtration. Water Conditioning & Purification. 10-13.
- Kucera, Bruce. 2004 (July). The use of distillation technology in the bottled water industry. Water Conditioning & Purification. 43- 44.

- Kunni, O; Nakamura, S; Abdur, R. y Wakai, S. 2002 (March). The impact on health and risk factors of the diarrhoea epidemics in the 1998 Bangladesh floods. *Public Health*. **116**(2):68-74.
- Macaulay, T. and Trapp L. 2002. (April). Chlorine, chloramine and chlorine dioxide regulations in California. *Water Conditioning & Purification*. **44**(4).
- Marrevo, L. 1992. Distribución de las tierras y las aguas. En: *La tierra y sus recursos*, Publicaciones Cultura, México. 126-128.
- Mateos González, Pedro F. 2004. TEMA 9: MUTACION. Mutágenos, radiaciones. <http://nostoc.usal.es/sefin/MI/tema09MI.html>
- McHugh Law, J; Lopez, L y Deangelo, AB. 1998. (January). Hepatotoxicity of the drinking water disinfection by-product, dichloroacetic acid, in the medaka small fish model. *Toxicology Letters*. **94**(1):19-27.
- Merrick, Loren M.. 2002. (October). Bottled water- a primer to proper operations. *Water Conditioning & Purification*. **44**(10).
- Meyer, V. y Reed, RH. 2001. (January). SOLAIR disinfection of coliform bacteria in hand-drawn drinking water. *Water S. A*. **27**(1):49-52.
- Michaud, C. F. 2004 (Mayo-Junio). Intercambio iónico: Oxidación – Oxidantes, edad y resinas suavizantes. *Agua Latinoamérica*. 34 – 37.
- Miettinen, IT; Zacheus, O; Von Bonsdorff, C-H y Vartiainen, T. 2000. Waterborne epidemics in Finland in 1998-1999. *Health-related Water Microbiology 2000*. pp. 67-71. *Water Science & Technology*. **43**(12).
- Millipore. 2001. *Catálogo de productos*.
- Muilenberg, T. 2003. (May). Water management with membrane technologies: the benefits of microfiltration. *Pollution Engineering*. **35**(5):22-25.
- MUNDET. S. A de C. V. 1994. (Diciembre). *Curso de tratamiento de agua*. Departamento técnico de Mundet.
- Nesicolaci, Marwan. 2004 (July). The RO Renaissance: Why It Thrives in the Marketplace. *Water Conditioning & Purification*. 38–40.
- Nicholas-John Ashbolt (2004a). Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Journal Toxicology*. 2004.01.030.
- Nicholas-John Ashbolt (2004b). Risk analysis of drinking water microbial contamination versus disinfection by-products (DBPs). *Journal Toxicology*. **198**(1-3)255-262.
- Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA1-1993, Requisitos Sanitarios Que Deben Cumplir Los Sistemas De Abastecimiento De Agua Para Uso Y Consumo Humano Públicos Y Privados, México. D. F. Publicada El 12 De Agosto De 1994, Diario Oficial De La Federación.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud Ambiental, Agua Para Uso Y Consumo Humano- Límites Permisibles De Calidad Y Tratamientos A Que Debe Someterse El Agua Para Su Potabilización". México. D. F. 18 de Enero de 1996 y modificada el 22 de Noviembre 2000, Diario Oficial De La Federación.
- Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2002. Productos y Servicios, Agua y Hielo Para Consumo Humano, Envasados y a Granel. 18 De Octubre De 2002. Diario Oficial De La Federación.

- Lezcano, I; Rey; RP, Gutierrez, MS; Baluja, C. y Sanchez, E. 2001. (April). Ozone inactivation of microorganisms in water, gram positive bacteria and yeast. *Ozone: Science & Engineering*. **23**(2):183-187.
- Li, Shuang; Zhang, Xiaojian; Liu, Wenjun; Cao, Lili y Wang, Zhansheng. 2001. Formation and evolution of haloacetic acid in drinking water of Beijing City. *Journal of environmental Science and health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. **A36**(4):475-481.
- Ongerth, JE; Johnson, RL; Macdonald, SC; Frost F. and Stibbs, HH. 1989. Back- country water treatment to prevent giardiasis. *American Journal of public health*. **79**(issue 12): 163-1637.
- Paul, David H. 2004. (July). RO Plus: Advanced Water Treatment— Here Today, Here Tomorrow. *Water Conditioning & Purification*. 35-37.
- Paulson, David J. 2003. (June). Filtration: Engineering a new generation of depth filter technology. *Water Conditioning & Purification*. 1-3.
- Pérez de Caso, E. L. 2002. (Septiembre-Octubre). Las preguntas más frecuentes sobre equipos purificadores de agua por medio de luz ultravioleta. *Agua Latinoamérica*. 40-41.
- Perruolo, José Domingo R. 2003. Metodología para la selección de un sistema de desinfección con cloro. www.monografias.com.
- Perry R. H. y Don W. G. 1994. Perry. Manual del ingeniero químico. Tomo IV. Procesos modernos de separación, Joseph D. Henry, Jr. Ed McGraw Hill, sexta edición. México. 17_25 –17_32.
- Powell, Sheppard T. 1988. Manual de aguas para usos Industriales. Ediciones Ciencia y técnica, S. A. México. 1:75-108.
- Rapala, J; Lahti,K; Raesaenen, LA; Esala, A-L; Niemelae, SI y Sivonen, K. 2002 (May). Endotoxins associated with cyanobacteria and their removal during drinking water treatment. *Water Research*. **36**(10):2627-2635.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2003a. (November). Developing water quality guidelines for the world. *Water Conditioning & Purification*. **45**(11).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2001b. (Julio-Agosto). Introducción a las enfermedades microbianas propagadas a través del agua. De la llave. En *agua Latinoamérica*. 38- 39.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2001c (Mayo-Junio). La pandemia de cólera en Latinoamérica. De la llave. En *Agua Latinoamérica*. 32 – 33.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2003d. (September). Coliform Bacteria: a failed indicator of water quality. *Water Conditioning & Purification*. **45**(9).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2002e. (Enero–Febrero). Salmonella: Un patógeno común y mortal. De la llave. En: *Agua Latinoamérica*. 48–50.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2003f. (April). Understanding waterborne *Caliciviruses noroviruses*, etc. *Water Conditioning & Purification*. **45**(4).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2001g. (June). Return of the MAC: risk of waterborne *Mycobacterium avium*. *Water Conditioning & Purification*. **43**(6).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2002h. (May) Eureka for Eukaryotes—The problem with protozoa. *Water Conditioning & Purification*. **44**(5).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2003i. (Septiembre-Octubre). Conceptos de virología. De la llave. En: *agua Latinoamérica*. 18-20.

- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2003j. (January). Diabetes – A waterborne disease? *Water Conditioning & Purification*. **45**(1).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2002k. (Mayo-Junio). Equistosoma. Lombriz invasora de agua fresca. De la Llave. En *Agua Latinoamericana*. 52-54.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2001l. (October). A fungus among Us- An incide look at the mold issue in homes, On Tap. En: *Water Conditioning & Purification*. **43**(10).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2003m. (March). The benefits HPS Bacteria in POU/POE devices – last study result. *Water Conditioning & Purification*. **45**(3).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2004n. (Mayo-Junio). Detectando patógenos propagados a través del agua: un vistazo a los métodos pasados, presentes y futuros. De la llave. En: *Agua Latinoamérica*. 7-9.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2002o. (Julio-Agosto). Desinfección con cloro y riesgos de los productos derivados de la desinfección. De la llave. En *agua Latinoamérica*. **2**(4):46-48.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2003p. (Marzo–Abril). Opciones de dispositivos de PDU/PDE para tratamiento y purificación de agua domestica. un repaso. De la llave. En: *Agua Latinoamérica*. 46–48.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2002q. (April). Microbial Resistance to disinfectants. *Water Conditioning & Purification*. **44**(4).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2002r. (June). Ultraviolet light: An alternative disinfectant. *Water Conditioning & Purification*. **44**(6).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2000s. (November). NDMA: Is emerging contaminant in water a substantial human health risk. *Water Conditioning & Purification*. **0**(0).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2004t. (Marzo-abril). OMS-Elaborando guías de calidad del agua para el mundo. De la llave. En: *Agua Latinoamérica*. 9- 10.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2003u. (December). Campylobacter—Concerns with drinkig water sources. *Water Conditioning & Purification*. **45**(12).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2004v. (February). Acrylonitriles—Settling on an industry Standard. *Water Conditioning & Purification*. **46**(2).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2004w. (August). Life in the distribution system: monitoring biofilm formation potentials. On Tap. En: *Water Conditioning & Purification*. 39-40.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2004x. (July). Predicting futures need: microbiological water quality monitoring and control. On Tap. En: *Water Conditioning & Purification*. 68-70.
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 2004y. (January). Do we need drinking water treatment at the tap? – a rebuttal to the wet study. *Water Conditioning & Purification*. **46**(1).
- Reynolds. K. A. MSPS, Ph. D. 1999z. (June). Update: Arsenic. On Tap. En: *Water Conditioning & Purification*. 3-4.
- RG Systems. 2002. (16-Abril). Fundamentos de la Ósmosis Inversa. Departamento Técnico de RG Systems. Zaragoza, España.
- Richa Shivastava, R. K. Upreti, S. R. Jain, K.N. Prasad, P. K. Sent and U. C. Chaturvedi. Suboptional chlorine treatment of drinking water leads to selection of multidrug- restant *Pseudomonas aeruginosa*. SO **147-6513**(03)00107-6.

- Sánchez, R. B. 1990. Aguas continentales. En: Geografía gramática física y humana. Ed. Progreso. México, D. F. 116.
- Shepherd , K. M. and Wyn-Jones. 1996. (April). An evaluation of Methods for the simultaneous detection of *Cryptosporidium* Oocysts and *Giardia* Cysts from water. Applied and environmental microbiology. **62**(4):1317-1322.
- Schwartz, Joel; Levin, Ronnie y Goldstein, Rebeca. 1999. (30 March). Drinking water turbidity and gastrointestinal illness in the elderly of Philadelphia. Public health policy and practice.
- Siddiqui, Salman. 2004. (May). Ultraviolet radiation: knowing all the facts for effective water treatment. Water Conditioning & Purification. 11-13.
- Sniezek, Tara. 2003. (November). An inside look at the certification on hybrid systems, Water Conditioning & Purification. **45**(11).
- Stanley, Bruce. 2004a. (Marzo–Abril). Generación electrolítica del ozono y su aplicación en sistemas del agua pura. Agua Latinoamérica. 11-16.
- Stanley, Bruce. 2004b. (August). Electrolytic ozone generation and its application in pure water systems. Water Conditioning & Purification. 9-12.
- Stoll, Tom P.E. 2004. (July). U. V. Light as Water Treatment: Why Its Popularity is Rising. Water Conditioning & Purification. 55-56.
- Sunil R. Vaiday, Uhas K. Kharul, Shobha D. Chitambar, Santosh D. Wanjale and Yogesh S. Bhole. Removal of hepatitis A virus from water by polyacrylonitrile- base ultrafiltration membranes. Journal of virological Methos. **119**(1)7-9.
- Sutto, D. B. 1994. Fundamentos de Ecología. México. Ed. Limusa. 125-134.
- Tae-Wook Ha. Kwang-Ho Choo and Sang-June Choy. Effect of chlorine on adsorption/ultrafiltration treatment for removing natural organic matter in drinking water. j.jcis. 2004.03.010
- Vessoni, Penna T. C., Gava, Mazzola P. and Alzira, M. S. Martins. 2001. (September). The efficacy of chemecal agents in cleaning and disaffection programs. BioMed Central, BMC Infectious Diseases. **2001**. 1:16.
- Vessoni, Penna T. C., Gava, Mazzola P. and Alzira, M. S. Martins. 2002. (August). Identification of bacteria in drinking and purified water during the monitoring of typical watr purification system. BioMed Central, BMC Infectious Diseases. **2002**. 2:13.
- Villa, R. ASIM. 2003. (07 Noviembre). Sustentabilidad del agua de México. Publicado por *aguamarket*. www.consumaseguridad.com
- Volkov, Sergey V., Krasnochub, Alexander V., Yakimenko, Alexander V. and Zaitseva, Svetlana G. 2003. (February). Wold Spotlight: Russian-.Battling Waterbone Contaminants with U. V.. Water Conditioning & Purification. **45**(2).
- Zanardi, Chris y Lantis, Robert M. 2003. (Marzo-Abril). La nueva luz U. V. pulsada avanza la tecnología ultravioleta. Nivel avanzado. En Agua Latinoamérica. 35-39.

