

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se analizan los temas relacionados con la elaboración del presente trabajo y que han servido de guía para la realización de esta investigación.

2.1. La crisis del agua dulce

El uso excesivo y la contaminación limitan la disponibilidad de agua dulce. En el año 2025, dos terceras partes de la población mundial (aproximadamente 5,500 millones de personas), vivirán en países que enfrentarán problemas serios relativos al agua, si continúan las políticas actuales en relación con el uso y manejo de ésta.

En 1995, el 20% de la población mundial no tenía acceso al agua potable, y el 50% carecía de agua para una higiene adecuada. (Sodis y Cevallos, 2003).

2.2. Agua Potable

En todo el mundo, más de mil millones de personas no tienen acceso a agua potable. Para el fin del siglo se estima que un 80% de los habitantes urbanos de la Tierra puede que no dispongan de suministros adecuados de agua potable. Sólo una pequeña cantidad del agua dulce del planeta (aproximadamente el 0,008%) está actualmente disponible para el consumo humano. Un 70% de la misma se destina a la agricultura, un 23% a la industria y sólo un 8% al consumo doméstico.

Al mismo tiempo, la demanda de agua potable está aumentando rápidamente. Se espera que el consumo agrícola de agua aumente un 17% y el industrial un 60% en los próximos años. A medida que el agua potable es más escasa, hay mayores posibilidades de que se convierta en una fuente de conflictos regionales, como ya está sucediendo en Oriente Próximo. (O.M.S, 1995)

2.2.1. Contaminación del agua potable

La contaminación industrial de las aguas subterráneas sigue siendo un grave problema en la mayoría de los países desarrollados. En todo el mundo se produce la infiltración de productos tóxicos en el suelo y en las aguas subterráneas, procedentes de tanques de almacenamiento de gasolina, vertederos de basuras y zonas de vertidos industriales. (O.M.S, 1995)

Otra causa importante de la contaminación del agua potable es el vertido de aguas residuales. En los países en vías de desarrollo, el 95% de las aguas residuales se descargan sin ser tratadas en ríos cercanos, que a su vez suelen ser una fuente de agua potable. Las personas que consumen esta agua son más propensas a contraer enfermedades infecciosas que se propagan a través de aguas contaminadas, el principal problema de salud en países en vías de desarrollo. Además, la contaminación producida por las aguas residuales destruye los peces de agua dulce, una importante fuente de alimentos, y favorece la proliferación de algas nocivas en zonas costeras. (Germain, 1982)

La administración del agua potable genera variados dilemas de carácter político y económico. Por ejemplo, a menudo los ríos y las divisorias de aguas cruzan fronteras provinciales, estatales o nacionales, y los contaminadores situados aguas arriba no tienen ninguna intención de realizar inversiones para disminuir la contaminación que sólo beneficiarían a sus vecinos aguas abajo. A menudo los países en vías de desarrollo no pueden permitirse la construcción de costosas plantas de tratamiento de residuos como las de los países desarrollados. Sin embargo, se han intentado sistemas más económicos, como los que utilizan

humedales y marismas para purificar las aguas residuales de forma natural. Los gobiernos y las organizaciones medioambientales de todo el mundo estudian soluciones alternativas para la creciente demanda global de agua potable. (Germain, 1982)

Según (INERHI y DIGMER, 1989), la composición de la calidad de las aguas que para consumo humano y doméstico requieren tratamiento convencional deben estar ligeramente contaminadas por microorganismos y ser poco turbias. Estas aguas presentan valores bajos en sus cargas contaminantes y son favorables para tratamiento simple.

2.2.2. Transmisión de patógenos por agua

Los patógenos transmitidos por agua pertenecen a los grupos de bacterias, virus y parásitos. Si bien con frecuencia los virus no se detectan en el agua ni en el huésped, pueden representar el mayor grupo de agentes patógenos, seguidos por los parásitos y las bacterias. (www.sodis.ch)

2.2.2.1. Características de los patógenos

Los principales factores que influyen en la importancia de los patógenos transmitidos por agua incluyen su capacidad para sobrevivir en el ambiente y el número necesario para infectar a un huésped (humano).

Las bacterias *Vibrio cholerae*, *Shigella*, *Salmonella* así como diferentes cepas patógenas de *E. coli* son los patógenos más importantes transmitidos por agua.

Las enfermedades gastrointestinales causadas por estas bacterias pueden ser serias y generalmente requieren tratamiento. La deshidratación como consecuencia de una diarrea profusa es frecuente entre niños menores de 5 años en los países en desarrollo. Las epidemias de cólera son causadas principalmente por *Vibrio*

cholerae transmitido por agua; por lo tanto, el tratamiento del agua es la medida más importante para la prevención de las epidemias de cólera.

Las enfermedades *virales* son generalmente sintomáticas y agudas con períodos relativamente cortos, alta liberación de virus, baja dosis infecciosa y una variedad restringida de huéspedes.

Aún cuando los *helmintos* y *protozoarios* generalmente no causan diarreas agudas, representan un grupo importante de patógenos. Una infección con protozoarios puede causar problemas crónicos de digestión, que pueden conducir a una malnutrición. Los niños mal nutridos tienen mayor probabilidad de sufrir diferentes tipos de infecciones. La *Giardia spp.* y el *Cryptosporidium spp.* son dos protozoarios transmitidos regularmente a través del agua, ambos patógenos tienen una etapa de quiste, que es muy resistente a las influencias ambientales. Ello les permite sobrevivir durante largo tiempo fuera de cualquier huésped. La ingestión de los quistes puede causar enfermedades. Las infecciones asintomáticas son muy comunes y apoyan la difusión de estos patógenos. (Catalán, 1982)

2.2.3. A qué se denomina agua potable

Agua potable es aquella que puede beberse sin peligro alguno pues no provoca ningún daño a la salud, y a la vez es útil para el desarrollo de diversas actividades humanas (domésticas, sociales, industriales, etc.) (CEPIS, 1992)

De acuerdo a lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S), el agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos:

a) No debe contener sustancias nocivas para la salud, es decir, carecer de contaminantes: biológicos (microbios y/o gérmenes patógenos), químicos, tóxicos (orgánicos o inorgánicos), y radiactivos.

b) Poseer una proporción determinada tanto de gases (O₂ y CO₂), como de sales inorgánicas disueltas.

c) Debe ser incolora o translúcida, inodora y de sabor agradable.

2.2.4. Cantidad diaria de agua que se debe beber para tener buena salud

El agua cumple un importante papel en el desempeño de las funciones metabólicas de los seres vivos. La ingesta diaria de agua debe ser 3% del peso corporal; es decir, si una persona pesa 80 kilos requiere 2,4 litros de agua por día.

El organismo pierde agua diariamente en la orina, la respiración, la transpiración y la evacuación de heces. Entonces, la persona de 80 kilos perderá 1,2 litros (50%) en la orina, 0,4 litros (17%) en la respiración, 0,6 litros (25%) en la transpiración y 0,2 litros (8%) en la evacuación. (O.M.S, 1995)

2.2.5. Métodos de tratamiento de agua a nivel casero

Los métodos generalmente recomendados por la (Organización Mundial de la Salud), son:

§ **El almacenamiento del agua.-** Es un método simple que puede mejorar la calidad del agua. Sin embargo, por sedimentación se logra reducir solamente parcialmente la turbiedad y los Coliformes Fecales (el indicador más usado para determinar el grado de contaminación fecal). Por lo cual se usa el almacenamiento solamente como un método de pretratamiento para fuentes de agua superficiales.

§ **Hervir.-** El agua es el método más seguro de desinfección del agua. Mata a todos los microorganismos presentes en el agua. Una vez alcanzada la temperatura de ebullición 100°C, se debe hervir el agua durante un minuto a nivel del mar, añadiendo un minuto por cada 1000 metros adicionales de altura

(por ejemplo: 5 minutos a 4000 metros). La desventaja principal de hervir el agua es la gran cantidad de energía requerida, por lo cual es un método relativamente caro y a veces inaccesible para los sectores más pobres de la población.

- § **La pasteurización.-** Es un proceso térmico, descubierto hace dos siglos, por el Dr. Luis Pasteur, que permite alcanzar los mismos efectos que la ebullición con 15 minutos a 65° Centígrados o más elimina todos los patógenos que se encuentren en el agua. Esto significa que no es necesario hervir el agua para obtener una adecuada pasteurización de la misma. Por ello tecnologías solares de calentamiento han resultado efectivas en Centroamérica y África (www.solarcookers.org)
- § **La filtración.-** Del agua con simples filtros caseros, como filtros de cerámica o filtros realizados con capas de grava y arena, remueve una gran parte de la materia sólida; sin embargo no logra necesariamente eliminar todos los microorganismos. Los filtros disponibles en el comercio son más confiables, pero también relativamente caros, mientras los filtros producidos localmente son generalmente de una eficiencia limitada en cuanto al mejoramiento de la calidad microbiológica del agua.
- § **La cloración.-** Es un método de desinfección usado para matar microorganismos (bacteria y virus), sin embargo su eficiencia para inactivar parásitos patogénicos (p. Ej. Giardia, Cryptosporidium y huevos de helmintos) depende de diferentes factores (concentración de cloro libre, pH, temperatura, tiempo de contacto). El cloro tiene un efecto protector contra una recontaminación del agua. Este tipo de tratamiento requiere el abastecimiento de cloro en forma líquida o en polvo. Se requiere un cierto grado de capacitación para un manejo apropiado del cloro. El agua clorada puede ser rechazada por ciertos usuarios debido a su sabor.

- § **La Desinfección Solar del Agua (SODIS).**- Es un método simple utilizando la radiación solar (luz ultravioleta y temperatura) para destruir bacteria y virus patogénicos presentes en el agua. Su eficiencia para inactivar parásitos depende de la temperatura del agua alcanzada durante la exposición. SODIS tiene costos muy bajos o inexistentes de inversión y operación, por lo cual es un método muy accesible. (www.sodis.ch)
- § **Irradiación Ultravioleta.**- Por medio de una lámpara de cuarzo llena de vapor de mercurio, se pueden producir rayos ultravioleta. Estos rayos matan a las bacterias, desintegrándolas.
- § **Ozonización.**- El ozono en contacto con sustancias oxidables se descompone rápidamente en oxígeno nascente y oxígeno diatómico inactivo. El primero destruye la materia orgánica.
- Si el agua no se encuentra muy cargada de materias en suspensión, puede bastar un filtrado como única depuración. Para cantidades pequeñas se fabrican filtros portátiles que pueden transportarse con todos sus accesorios.
- § **Depósitos de decantación.**- Se emplean en la purificación previa de aguas muy sucias, por ejemplo, corrientes superficiales haciéndolas pasar antes, en caso necesario, a través de rejillas y desarenadores.

2.3. Filtración

Proceso de separar un sólido suspendido (como un precipitado) del líquido en el que está suspendido al hacerlos pasar a través de un medio poroso por el cual el líquido puede penetrar fácilmente. La filtración es un proceso básico en la industria química que también se emplea para fines tan diversos como la preparación de café, la clarificación del azúcar o el tratamiento de aguas. El líquido a filtrar se denomina suspensión; el líquido que se filtra, el filtrado; y el material sólido que se deposita en el filtro se conoce como residuo.

En los procesos de filtración se emplean cuatro tipos de material filtrante: filtros granulares como arena o carbón triturado, láminas filtrantes de papel o filtros trenzados de tejidos y redes de alambre, filtros rígidos como los formados al quemar ladrillos o arcilla (barro) a baja temperatura, y filtros compuestos de membranas semipermeables o penetrables como las animales. Este último tipo de filtros se usan para la separación de sólidos dispersos mediante diálisis. (CEPIS/OPS, 2004)

2.3.1. Tipos de filtros

Los tipos de filtros de mayor utilización son:

§ **Filtro de arena.-** El filtro de arena está basado en el uso de la arena como material filtrante. El filtro usa arenas de diámetros seleccionados en un rango de 0,15 a 0,45mm. Los filtros de arena pueden remover las partículas de diámetro tanto mayor como menor que el poro del medio filtrante. Las partículas mayores son retenidas por el simple efecto físico de cernido y las pequeñas, por adherencia a la superficie de las capas superficiales del elemento filtrante.

Dependiendo de las fuerzas que intervengan en el proceso de filtración, se distingue entre filtros de gravedad, y filtros de presión, siendo los primeros más económicos de explotar y mantener, aunque requieran una mayor superficie de filtrado para obtener los mismos rendimientos

La clasificación de los tipos de filtros por gravedad, en función de la velocidad de filtración son:

- *Filtros lentos:* La velocidad de filtrado es inferior a $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, estos filtros se utilizan para aguas poco turbias, que no han necesitado coagulación previa. Requieren una granulometría fina de la arena, las retenciones se van a producir principalmente en la superficie del lecho.

- *Filtros rápidos:* La velocidad de filtrado es superior a 5 m³/m²h, son los filtros usados normalmente en aguas potables, que previamente han pasado por un proceso de decantación y coagulación. (www.salohogar.com/ciencias/naturaleza/elagua/filtrosdeagua.htm)

§ **Filtros de cerámica.-** Este filtro, luego de colar y decantar, entrega el agua en perfectas condiciones de potabilidad, siempre y cuando no haya habido aguas negras mezcladas. No es necesario hervirla o desinfectarla luego. Con el se puede extraer agua de lagunas, charcas, represas, lagos, ríos y aljibes. (Pérez y Vargas, 1982).

2.4. Energía solar

Energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión. Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor. (Acosta, 1983)

2.4.1. Recogida directa de energía solar

La recogida directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recoger energía, a veces después de concentrar los rayos del Sol. La energía, una vez recogida, se emplea en procesos térmicos o fotoeléctricos, o fotovoltaicos. (Hernández, 1990)

§ En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un gas o un líquido que luego se almacena o se distribuye.

§ En los procesos fotovoltaicos, la energía solar se convierte en energía eléctrica sin ningún dispositivo mecánico intermedio

2.4.2. Transferencia de calor

Proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción.

Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación. (Hernández, 1990).

§ **Conducción.-** La conducción es la transferencia de calor a través de un objeto sólido.

§ **Convección.-** La convección transfiere calor por el intercambio de moléculas frías y calientes.

§ **Radiación.-** La radiación es la transferencia de calor por radiación electromagnética (generalmente infrarroja).

2.4.3. Aislante térmico

Es un cuerpo que impide el paso de calor (retención de calor). Se incluyen entre los buenos materiales aislantes: hojas de aluminio (reflector brillante), plumas, lana de fibra de vidrio, poliuretano, celulosa, cascarillas de arroz, paja y periódicos arrugados.

Cuando se construye un colector solar, es importante que los materiales aislantes rodeen el interior de la cavidad, por todos los lados excepto por el lado acristalado normalmente el superior. Los materiales aislantes deben ser instalados para permitir la mínima conducción de calor desde los materiales estructurales del interior de la caja hacia los materiales estructurales del exterior de la caja. Cuanta menos pérdida de calor haya en la parte inferior de la caja, más alta será la temperatura. (www.internatura.uji.es/estudios/energias/energias.html)

2.4.4. Mecanismos para la desinfección solar

Entre los mecanismos más relevantes para la desinfección solar tenemos los siguientes:

2.4.4.1. Colector solar

Está compuesto por un colector que es una caja con marco de aluminio y cubierta de vidrio. El colector contiene tubos de cobre, pintados de negro, soldados a dos tubos cabezales y que almacenan el agua en proceso de calentamiento.

El principio de funcionamiento de estos sistemas es conocido como calentador solar pasivo, donde el calor de la radiación solar es absorbido por los tubos negros, lo que incrementa la temperatura del agua dentro del colector y produce una consecuente disminución de la densidad de ésta. Cuando un calentador solar se utiliza con fines de desinfección, la eficiencia depende directamente de la temperatura que alcance para llevar a cabo el proceso de pasteurización. (Reiff, 1995)

2.4.4.2. Cocinas solares

La desinfección del agua por pasteurización es otra posibilidad que se deriva del uso de “estufas solares”.

Una cocina solar se compone de un par de cajas que pueden ser de cartón o madera, una dentro de la otra, que sirven para atrapar el calor del sol y utilizarlo, en este caso, para calentar el agua. El principio consiste en aprovechar el calor que llega del sol por radiación y atraparlo en el interior de la caja pequeña; se evita que salga por medio de una cubierta transparente, que generalmente es de vidrio. (Martínez, 1995)

2.4.4.3. Concentradores solares

Los concentradores solares son un tipo de calentador solar. Se parecen a una antena parabólica espejada o más bien a un paraguas abierto con su interior espejado. Al igual que una lente cóncava que recibe los rayos de luz y los concentra en un punto (el foco), estas cocinas concentran los rayos del sol en un punto en donde se coloca una pequeña plataforma para asentar allí la olla o recipiente que se quiere calentar. Pueden estar hechos de cartón recubierto de papel de aluminio o de otros materiales.

A diferencia de las cocinas solares, la concentración de los rayos en este tipo de cocinas genera temperaturas que pueden llegar a 350° C, lo que permite el rápido calentamiento del agua. Ello puede producir la desinfección por pasteurizado o por ebullición directa. (Reiff, 1995)

2.4.4.4. Destiladores solares

Otro equipo que aplica la energía térmica es el destilador solar, el cual puede manejarse con tecnología simple o sofisticada. Estos equipos se utilizan para la producción de agua potable a partir de agua de mar o de agua dulce con algún problema de contaminación y también sirven como sistemas de desinfección del agua.

El principio de operación mediante energía solar es el mismo que utiliza la naturaleza en el ciclo hidrológico: se evapora el agua del embalse que tiene

presencia de sales y se condensa en otra parte (nubes y luego lluvia), donde se obtiene agua purificada.

Existen varios diseños de condensadores. El más simple consiste en una caseta de vidrio a dos aguas, con una inclinación de alrededor de 20° con respecto a la horizontal, lo cual permite que las gotas de agua condensada escurran hacia abajo en donde se colectan en pequeños canales. (Reiff, 1995)

2.4.4.5. Desinfección en botellas y recipientes pequeños

Para el ámbito familiar, donde se desinfectan pequeños volúmenes de agua, el Instituto Federal Suizo para la Ciencia y Tecnología Ambiental (EAWAG), a través de su Departamento de Agua y Saneamiento en Países en Desarrollo (SANDEC), ha promocionado el uso de botellas y recipientes especiales pintados de negro. Esta modalidad ha tenido amplia aceptación en los lugares donde se ha implementado.

La técnica consiste en exponer el agua a desinfectar en botellas de plástico, como las que se usan para las bebidas gaseosas las que pueden estar o no, pintadas de negro. Los suizos han realizado pruebas con una serie de recipientes, desde bolsas plástico hasta bidones de boca estrecha (para evitar que las manos entren en contacto con el agua desinfectada) y si bien han obtenido excelentes resultados desde un punto de vista práctico y económico, las populares botellas de bebidas gaseosas tienen un atractivo especial por su difundida disponibilidad. Los requerimientos en cuanto al tiempo y temperaturas de exposición son exactamente iguales que para cualquiera de las otras técnicas. (www.sodis.ch)

2.4.5. Efecto de energía solar en los patógenos

Los patógenos que afectan a los humanos se adaptan a vivir en los intestinos de las personas, donde encuentran un ambiente húmedo y oscuro y temperaturas que oscilan entre los 36°C y los 37°C.

Una vez descargados en el medio ambiente, estos patógenos son muy sensibles a las condiciones fuera del cuerpo humano. No pueden tolerar temperaturas elevadas y no tienen ningún mecanismo de protección contra la radiación solar. Por lo tanto, es posible usar la temperatura y la radiación solar para inactivar a estos patógenos.

La energía solar destruye las bacterias y los virus patógenos. Se ha documentado la inactivación de los siguientes microorganismos:

§ Bacterias: *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhi*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella paratyphi*.

§ Virus: Bacteriófagos f2, Rotavirus, Virus de la Encefalomiocarditis.

§ Levaduras y mohos: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Candida*, *Geotrichum*.

Sin embargo, todavía no se ha evaluado sistemáticamente la inactivación de organismos que forman quistes y esporas como protozoarios, *Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium parvum* y helmintos, mediante la desinfección solar del agua.

Es posible destruir estos organismos usando la temperatura (hirviendo o pasteurizando el agua). Todos los microorganismos tienen una sensibilidad específica al calor. El punto de muerte térmica de los quistes de amebas y *Giardia* es 57°C (durante 1 minuto de exposición). La desinfección solar del agua destruirá eficazmente estos patógenos.

La mayoría de patógenos que ataca a los humanos es muy frágil; fuera del cuerpo humano no puede multiplicarse y muere. Una de las pocas excepciones la

constituye la Salmonella, la cual, sin embargo, requiere condiciones ambientales favorables (como un suministro adecuado de nutrientes) para sobrevivir.

En la medida que la desinfección solar no produce agua estéril, es necesario usar parámetros adecuados para evaluar su eficacia. (SODIS y Zevallos, 2003)

2.4.6. Resistencia térmica de los microorganismos

Los microorganismos son sensibles al calor. El cuadro 1 presenta la temperatura y el tiempo de exposición necesarios para eliminar microorganismos. Puede verse que el agua no tiene que hervir para matar el 99.9% de los microorganismos y el calentamiento del agua a 50- 60°C durante una hora tiene el mismo efecto. (SODIS y Zevallos, 2003)

Cuadro 1. Resistencia térmica de los microorganismos			
Microorganismos	Temperatura para una desinfección al 100%		
	1 min.	6 min.	60 min.
Enterovirus			62°C
Rotavirus			63°C por 30min
Coliformes Fecales			63°C por 30min
Salmonella		62°C	58°C
Shigella		61°C	54°C
<i>Vibrio cholerae</i>			45°C
Quistes de <i>Entamoeba histolytica</i>	57°C	54°C	50°C
Quistes de Giardia	57°C	54°C	50°C
Huevos y larvas de gusanos ganchudos		62°C	51°C
Huevos de Áscaris	68 °C	62°C	57°C
Huevos de Esquistosoma	60°C	55°C	50°C
Huevos de Tenis	65°C	57°C	51°C

Fuente. FUNDACIÓN SODIS Y ZEVALLOS M. Desinfección solar del agua. Lima, 2003.