

4.4.2.3.6. Permanganato de Potasio.

Experimentos de laboratorio (50) han demostrado que algunos géneros de algas, tales como Microcystis, Anabaena, Gloetrichia, Oscillatoria ó Hydrodictyon mueren en presencia de 1 a 5 mg/l de permanganato de potasio, en un tiempo de contacto de 12 horas. Algunas son muy resistentes, como por ejemplo, el Dictyosphaerium pulchellum y que es sensible solamente a dosis de 8.0 a 12.0 mg/l. Algunas "diatomeas problema", que generalmente son resistentes a 8.0 mg/l de sulfato de cobre, son fácilmente destruidas con una concentración de 1 mg/l de permanganato de potasio en 12 horas.

4.4.2.3.7. Sales Cuaternarias de Bupiridilo.

Algunos compuestos basados en el ión bupiridilo, que recientemente han sido introducidos como herbicidas en la agricultura, tales como el diquat (dibromo de 1, 1' etileno 2, 2' bupiridilo) y el paraquat (dicloruro de 1, 1' dimetil 4, 4' bupiridilo) parecen estar dotados de gran poder algicida y, tienen la gran ventaja de ser casi instantáneamente inactivados en el suelo (y posiblemente en el agua) por la acción bacteriana. Su acción destructiva sobre los tejidos clorofilados es muy grande permitiendo el empleo de dosis relativamente pequeñas (51).

4.4.2.3.8. Antibióticos.

Se ha demostrado la acción algicida de los antibióticos como la estreptomina, neomicina, terramicina y algunos otros en el control de las algas azules, mientras que la actidiona actúa selectivamente sobre ciertas algas verdes y diatomeas. Concentraciones de sólo 0.015 microgramos por ml. de estreptomina son suficientes para controlar algunas algas verdeazuladas sin ejercer ningún efecto sobre las verdes. Palmer (31) cree que la producción natural de antibióticos por ciertos estreptomicetos acuáticos constituye la causa de la ausencia de proliferación de algas azules en algunas fuentes. Se recuerda también la posibilidad de la utilización futura de la Clorelina y de otros antibióticos producidos por las algas, como algicidas por su gran capacidad de inhibir su propio desarrollo.

4.4.2.4. Peces Microfagos.

En los reservorios, gran número de algas son eliminados por los peces que se alimentan de ellas. Existen algunos peces oriundos de Sudamérica, que pueden ser considerados microfagos. Además de éstos, algunos peces introducidos de otros continentes, como las carpas y las tilapias se alimentan de la vegetación del fondo, inclusive de las algas, sobre todo cuando están jóvenes. En el Congo Belga existen especies de tilapias que se alimentan exclusivamente de organismos microscópicos, como por ejemplo la Tilapia macrochir y la T. nilotica las que todavía no han sido introducidas en Sudamérica (52). La cría de esos peces en reservorios de pequeñas dimensiones, podría tal vez constituir un medio de control de los microorganismos, pero en fuentes de grandes

dimensiones no llega a ser significativa la destrucción de algas. Solamente se las utiliza para el control de la vegetación superior.

4.4.2.5 Filtración y Microfiltración.

Aproximadamente el 90% y a veces más, de las algas del agua bruta que entra a una planta de tratamiento puede ser eliminada en la sedimentación después de la floculación. Se puede aumentar la eficiencia de la coagulación agregando sílice activado (9). La filtración, después de la sedimentación, elimina todavía cerca del 90% de las algas restantes, obteniéndose así con el tratamiento corriente del agua, una eficiencia final del 99% o más. La eficiencia de la filtración puede variar mucho de acuerdo a diferentes factores, entre los que están: el tamaño de las algas, su capacidad de floculación, el tamaño de los granos de arena, etc. (53).

Un método especial de filtración, aplicado en forma particular para la remoción de microorganismos, es el constituido por los microfiltros o microtamís. Surgieron en Inglaterra después de la última guerra mundial, e inicialmente fueron destinados a la eliminación de sólidos suspendidos sin la necesidad de una previa coagulación. El microfiltro consta de un cilindro giratorio revestido de una tela fina de acero inoxidable con mallas de 65, 35 ó 23 micras de abertura. Un aparato de tamaño patrón, con 3.30 m de diámetro tiene aproximadamente 7 trillones de mallas sobre su superficie. En general, esos cilindros se construyen con aproximadamente 0.72; 1.65; 2.45 y 3.30 m de diámetro y 0.65; 1.0; 1.65 y 3.30 de largo respectivamente (54). Una de las extremidades del cilindro está abierta y da entrada al agua que se filtra a través de los orificios de la tela metálica. En la parte alta del aparato están situadas varias boquillas que emiten chorros de agua sobre la tela, de fuera para adentro, de manera que mantienen los orificios desembarazados. Por la parte interna del cilindro, también en su parte superior, tiene un recipiente que recoge esa agua de lavado y la conduce a un tubo de desagüe. El cilindro gira con una velocidad promedio de 1.5 RPM, sumergido en el agua hasta más o menos las tres quintas partes de su diámetro. La tela retiene todas las partículas de diámetro superior al de sus mallas y además se forma una capa fina de agua y material coloidal o de partículas sólidas que constituyen una película semejante al "Schmutzdecke" de los filtros de arena, pero mucho más fina y de la cual depende la eficiencia del aparato. Esa película se destruye con los chorros de agua, pero se forma inmediatamente cuando la tela limpia se sumerge nuevamente dentro del agua. Estos aparatos tienen una capacidad individual que varía desde algunas centenas de millares hasta cerca de 500 millones de litros por día con un consumo del 2 al 10% de agua para los chorros de lavado. La reducción del número de algas en algunos casos y para el plancton en general es del orden del 85%, pudiendo llegar a ser del 100% para ciertos géneros de algas en determinadas circunstancias (27) (34) (55).

4.4.3. Protozoarios.

El control de los protozoarios en las aguas de abastecimiento inclusive de los patógenos, se realiza principalmente a través de la sedimentación que se verifica naturalmente en la fuente represada, de la coagulación y sedimentación en los decantadores de la planta de tratamiento y de la filtración. Así se observó en una encuesta realizada en varias ciudades de Estados Unidos (56) que entre las aguas tratadas, de diferentes procedencias, más del 50% de las que procedían de ríos contenían quistes de amebas de vida libre a pesar de haber sido sedimentadas, filtradas y cloradas; mientras que las aguas de las ciudades que se abastecían de lagos o embalses (en número de siete) no fué posible encontrar ningún caso positivo.

Algunos de esos organismos se pueden controlar con sulfato de cobre (como los ciliados del género *Stentor*, por ejemplo) mientras que otros, inclusive los parásitos humanos, son sumamente resistentes a los desinfectantes, como es el caso de la *Entamoeba histolytica*, que causa la amebiasis y que es resistente hasta a una concentración de 100 mg/l de cloro y a cerca de 15 mg/l de yodo, en condiciones favorables de temperatura y otros factores (24) (33).

Los trabajos fundamentales sobre la desinfección de las aguas por medio del yodo son de Chang y Morris (57); Chang (24); Black y colaboradores (58); Black (59). De esos trabajos se han extraído los siguientes elementos como más significativos: la forma activa de *E. histolytica* es sensible a concentraciones hasta inferiores de 0.1 mg/l de yodo en un tiempo de contacto de 5 minutos; sin embargo, los quistes, que constituyen la forma transmisible más importante, a través de la materia fecal, son muy resistentes, en forma análoga a las esporas de las bacterias. De acuerdo a las investigaciones realizadas por Chang (57) la destrucción de los quistes por el yodo está en función del tiempo, de la concentración de yodo y de la temperatura del agua. Existen gráficos que permiten, en cada caso, verificar la concentración de yodo necesaria y mediante ellos se puede saber que cuando se dispone de un tiempo de contacto de 60 minutos, las concentraciones de yodo necesarias son de 0.8 mg/l cuando la temperatura es de 23°C; de 1.3 mg/l a 10°C; y de 1.6 mg/l a 3°C. Pero, cuando el tiempo de contacto con el yodo se reduce a 10 minutos, las concentraciones deben ser respectivamente mucho más elevadas: 3.5 mg/l a 23°C; 6.0 mg/l a 10°C y 8.0 mg/l a 3°C. Es deseable, según el mismo autor por varias razones, que el tiempo de contacto sea de 10 minutos, empleándose 5 mg/l de yodo en promedio, en aguas limpias y no muy frías. Para cubrir las demandas de yodo eventuales que generalmente ocurren en aguas con color superior a las 50 unidades, en los casos de desinfecciones de emergencia (cuando no se dispone de elementos para calcular esa demanda y tomar en cuenta el factor temperatura) se aconseja emplear 8.0 mg/l. La mayor eficiencia se obtiene con pH entre 3.8.

A esas concentraciones y con un tiempo de contacto de 10 minutos (20 minutos cuando la temperatura del agua está cerca de los 0°C), el yodo es efectivo para la destrucción de cualquier organismo patógeno del agua, incluyendo además de los quistes de *E. histolytica*: enterobacterias, cercarias, leptopira y virus. En los trabajos llevados a cabo por Black y colaboradores (58) (59) se comprobó que cuando la concentración de yodo llega a 1.0 mg/l, se comienza a percibir una pequeña coloración, así como sabor y olor en el agua; el yodo no se combina con el amoníaco ni con los fenoles para formar compuestos de olores más ofensivos. No hay dificultad para la dosificación, con una precisión hasta de 0.05 mg/l. El efecto residual es muy superior al de cualquier otro desinfectante que se emplea en aguas de abastecimiento.

El exceso de yodo en el agua potable puede causar desórdenes tiroideos (hipertiroidismo) y el agua no debe llegar al consumidor con más de 5 mg/l del elemento activo. Así es como, cuando el tratamiento se efectúa con dosis mayores, el exceso debe ser retirado, de tal manera que se mantenga un residuo inferior a 1.0 mg/l (según Black y cols, sería ideal una concentración de 0.3 mg/l para mantener un potencial desinfectante en toda la red de distribución). Además hay un gran margen de seguridad, ya que concentraciones de 1 mg/l comienzan a provocar la formación de color y sabor. Finalmente, se debe tomar en cuenta la posibilidad de la sensibilidad alérgica al yodo de algunos elementos de la población.

4.4.4. Control de Gusanos, Larvas de Insectos, Crustáceos, Moluscos, etc.

Algunos de estos organismos son particularmente resistentes al sulfato de cobre, como los crustáceos del género *Daphnia* y las larvas de insectos (5); y al cloro, como las larvas de los insectos quironómidos que resisten a concentraciones de 15 a 50 mg/l de cloro (33) y los gusanos nemátodos. Estos últimos, sobre todo, resisten a veces concentraciones iniciales de 100 mg/l de cloro, sobreviviendo de 5 a 10 minutos (25). Con frecuencia se les encuentra en reservorios de distribución donde se reproducen a partir de los huevos que atraviesan el sistema de tratamiento, especialmente cuando el agua procede de fuentes no represadas (56). Estos organismos también se encuentran en las capas inferiores de los filtros, aún en las aguas que recibieron una precloración (17). Los gusanos del género *Schistosoma*, parásitos de especial importancia en el Brasil, no son totalmente eliminados con un tratamiento que comprende coagulación, sedimentación y filtración en arena. Los miracidios se pueden controlar con la cloramina, en concentraciones de 0.45 mg/l y la cloración en general da buenos resultados cuando se efectúa en aguas de lagunas o piscinas, pero no en aguas corrientes. Las cercarias se eliminan con una concentración de cloro residual que no sea inferior a 0.5 mg/l durante 20 minutos, según algunos autores; mientras que otros afirman que se puede obtener el mismo resultado con solo 0.2 mg/l durante 30 minutos (60). Sin embargo, la forma más corriente de combatir la propagación de esos parásitos

consiste en destruir los moluscos que les sirven de huéspedes intermediarios. Estos se pueden combatir con sulfato de cobre, en cantidades variables y generalmente superiores a 0.5 mg/l, dependiendo de la alcalinidad y otros factores del agua, como ya se vió anteriormente. Los moluscos transmisores de la billarziasis, como son algunos planorbídeos, y varios otros de los géneros *Physa*, *Melania*, *Goniobasis*, *Helisoma*, etc., pueden causar por sí mismos, problemas en los abastecimientos de agua. Se puede evitar la introducción de esos organismos en la planta de tratamiento o en la red de distribución tomando el agua en las regiones más centrales y profundas de la fuente en vez de tomarla junto a las márgenes y especialmente cerca de la vegetación de la cual se alimentan. Además, el aumento de la velocidad del agua en los canales y otros conductos puede impedir el desarrollo de esos animales. La eliminación de los moluscos con cloro, sulfato de cobre o pentaclorofenato de sodio (este último no se puede usar en aguas de abastecimiento) que son los moluscocidas más empleados, pueden causar serios problemas de gusto y olor en las aguas potables (61). Los moluscos lamelibranquios del género *Corbicula*, provenientes de Asia y que hoy han invadido grandes áreas del territorio norteamericano, causando problemas serios como los de invadir y obstruir las tuberías de agua potable y la de mezclarse en un porcentaje elevado con el cascajo recogido del lecho de los ríos para la preparación del concreto, pueden ser controlados por medio de una precloración continua, manteniendo una concentración de 0.5 mg/l de cloro residual, que de acuerdo con los experimentos de laboratorio es suficiente para destruir sus larvas. Con respecto a la *Dreissena polymorpha*, muy semejante al género anterior, que causa problemas de obstrucción de tuberías en Europa, se sabe desde 1886 que son controlados eficientemente con la aplicación de 1.0 a 1.5 mg/l de cloro en los canales que conducen el agua a los tanques de sedimentación (sistema de tratamiento utilizado en Inglaterra) y de 0.5 mg / l en los canales que conducen el agua de estos tanques a los filtros. Esto se hace durante algunos meses (Mayo a Setiembre), que es suficiente para mantener todo el sistema de tratamiento libre de la presencia de esos moluscos por todo el año (62). Algunos otros organismos que pueden aparecer, como por ejemplo los briozoarios se pueden eliminar, en general, con la cloración (17).

4.4.4.1. Empleo de Insecticidas y sus Restricciones.

Las larvas de insectos, inclusive de aquellos que son transmisores de parásitos que causan la malaria, fiebre amarilla, etc. y también los crustáceos se eliminan en general por medio de insecticidas orgánicos, tales como el DDT, los ésteres fosforados y otros. Los más empleados como larvicidas son el DDT, en concentraciones del 2 al 10 mg/l y el BHC que se aplica en solución aceitosa o suspensión conteniendo 4% del isómero gama. Los insectos simúlideos se eliminan cuando están en la forma larvaria, aplicándoles una suspensión de DDT (63). Sin embargo, el control de las larvas de los insectos no constituye un problema de los más

sencillos. Cuando se desarrollan en abundancia crean dificultades en los sistemas de abastecimiento de aguas o aún a los mismos habitantes de las áreas lacustres debido a los verdaderos "enjambres" de mosquitos, que aunque no piquen, pueden resultar incómodos. Según Ordman (1946) y Lewis (1956) en el libro de Edwards y cols. (64) se han asociado condiciones alérgicas con la emergencia de formas adultas, en algunas áreas. En el caso de reservorios de aguas tratadas, generalmente es suficiente que éstos estén limpios, libres de debris orgánico e inaccesibles a la luz, a fin de que no se desarrollen algas. De esa manera, las larvas no encontrarán alimento para desarrollarse. El apareamiento de larvas en los lechos filtrantes o sedimentadores de las plantas de tratamiento de agua es, a veces, facilitado por la presencia de iluminación artificial de noche que atrae a los adultos alados que depositan sus huevos. En una planta de tratamiento de agua, cerca del municipio de Sao Paulo, Brasil, se obtuvo el control satisfactorio por la simple supresión, durante la mayor parte del tiempo, de los reflectores que iluminaban los sedimentadores y filtros en la noche.

Los científicos ingleses se han dedicado especialmente a la investigación en este sector. Sus trabajos incluyen: ensayos del control de las formas adultas mediante la pulverización de varios tipos de insecticidas; empleo de aceites sobre la superficie de las aguas para impedir la emergencia de las larvas; aplicación de insecticidas al agua, para controlar las mismas larvas y el uso de peces larvófagos (*Gambusia affinis*).

Varios trabajos de esos investigadores se han publicado, entre los que se destacan los de R.W. Edwards y colaboradores (64); E.W. Taylor (65) y S.L. Warnick y cols. (66).

Según los informes de la Metropolitan Water Board, las medidas que disponen el control de las formas adultas mediante insecticidas de contacto que permanecen como residuos sobre la vegetación de las márgenes de los reservorios, aunque reduzcan en gran parte las molestias causadas por dichas formas adultas, apenas constituyen una medida temporal, y además ofrecen el riesgo de la contaminación de las aguas. Las medidas más radicales deben estar dirigidas a las larvas en el agua. Sin embargo, el control que se hace directamente en el agua está sujeto a una serie de restricciones, desde el punto de vista sanitario. En muchos países, el uso indiscriminado de una gran variedad de larvicidas y desinfectantes ha causado una gran mortalidad de peces y aves; esto llevó, por ejemplo, a Inglaterra a prohibir productos que contuviesen diel-drin y aldrin, que son dos insecticidas órgano-clorados muy persistentes. Es posible que con el tiempo también se hagan restricciones al uso del DDT. Algunos autores han señalado el hecho de que los hidrocarburos clorados por estar dotados de gran estabilidad química, poca solubilidad en el agua, baja toxicidad para los mamíferos y ser rápidamente absorbidas por los lodos, deben ser particularmente eficientes en el control de las larvas. No obstante Hunt y Bischoff (1960), Scumber y Friddle (1946), Warnick y cols. (66) han demostrado que