

Teniendo en cuenta el problema de la fertilización, se deben tomar algunas medidas especiales al hacer el represamiento de una fuente destinada al abastecimiento. Además de limitarse la eliminación de desechos en la cuenca a ser inundada, se debe quitar todos los matorrales y material putrescible antes de cerrar el represamiento. El matorral existente no debe ser inundado y ni siquiera quemado, porque de una manera o de la otra se favorecería al enriquecimiento de las aguas en sales minerales, entre los que habrían compuestos de nitrógeno y de fósforo. Si fuera absolutamente necesario el quemar ese material, se debería hacerlo en puntos determinados y sacar en seguida las cenizas. En ese caso, el quemado debe ser total, ya que los residuos de la destilación seca de la madera, en la formación del carbón, pueden dar origen a gusto y olor en las aguas. Se debe excavar el fondo de las pequeñas lagunas o simples depresiones de terreno que se han de incluir en el embalse para sacar todo el material decantado o depositado por las lluvias porque es muy rico en sales minerales lixiviados durante años por las aguas de drenaje. Finalmente, las márgenes del lago deben ser de preferencia, limpias y con taludes escarpados a fin de evitar la formación de regiones de poca profundidad que favorecen el crecimiento de la vegetación marginal. El no observar estas recomendaciones han creado, con mucha frecuencia, serios problemas en el tratamiento. Por ejemplo, una de las fuentes de abastecimiento de Sao Paulo, antes de ser represada contaba con un número máximo de 500 organismos por ml. y después de la construcción de la represa llegó a contar como 100,000 organismos por ml.

4.2.2.2.3. Luz.

La necesidad de la luz solar como fuente de energía para la realización de la síntesis orgánica, hace que los vegetales clorofilados acuáticos se distribuyan dentro del agua, de manera que puedan obtener la mayor cantidad posible de radiaciones que son capaces de absorber y utilizar. Por esta razón, es que en las grandes profundidades de algunos lagos, se hace imposible la vida de esos organismos, sobre todo cuando se trata de aguas que tienen alto grado de color y de turbidez puesto que esos son los principales factores que interfieren en la limitación de la luz. Una turbidez de 100 unidades prácticamente elimina todo desarrollo de algas (9). Esta particularidad puede ser aprovechada por los ingenieros sanitarios de varias maneras para conseguir aguas libres de algas nocivas.

Se ha comprobado que muchas aguas, aunque contengan concentraciones elevadas de nitrógeno y otros elementos esenciales, no tienen un número elevado de algas, debido a su alto grado de turbidez o de color que impide la penetración de la luz, convirtiéndola así en el factor limitante principal. Por otro lado, se sabe que al represar un río se disminuye la velocidad de sus aguas, lo que favorece a la sedimentación del material en suspensión con la consiguiente reducción de la turbidez y aún del color de las aguas. Así se eliminan en gran parte los obstáculos principales que impiden la penetración de la

luz. Esto favorece, a veces, un aumento considerable en la densidad de la población de algas en el represamiento. Por ejemplo, la ciudad de Sao Paulo cuenta con tres grandes fuentes de agua: el embalse de Río Grande, el embalse Guarapiranga y el sistema de embalse de Cotía. Se realizaron estudios sobre sus condiciones sanitarias y se obtuvieron los siguientes datos (promedios de un año de observación) (10):

	Turbidez	Color	Nitrógeno (mg/l)	Microorganismos (N° por ml.)
Río Grande	5	31	1.045	más de 20,000
Guarapiranga	13*	94	0.435	menos de 500
Cotía	6.5	62	0.386	menos de 6,000

* Promedio de los datos recogidos en la planta de tratamiento. La turbidez en el embalse es todavía mucho mayor.

Así, se puede observar que, sin lugar a dudas, el alto contenido de nitrógeno y el color y turbidez muy bajas en la primera fuente, constituyen los factores responsables por el número elevado de microorganismos encontrados. Sin embargo, por otro lado, se puede comprobar que el sistema de Cotía, a pesar de tener un menor contenido de nitrógeno que el de Guarapiranga, generalmente presenta números más elevados de microorganismos que este último y eso se debe sin duda alguna, a la diferencia que hay entre los índices de color y turbidez de las dos fuentes. Los dragados continuos para sacar la arena del fondo del embalse de Guarapiranga, aunque con graves inconvenientes para el lago contribuyen en mucho, para que éste no tenga un número muy elevado de algas, a pesar de su contenido mineral relativamente alto.

Un caso aún más evidente es el constituido por los dos lagos artificiales que forman el sistema de Cotía (11); prácticamente toda el agua contenida en la represa llamada Cascada de Gracia proviene de otra mucho mayor, la de Pedro Beicht, ubicada aproximadamente a 10 Km. aguas arriba de la primera. El trecho que las separa está cubierto de matorral denso y el agua lo atraviesa en lecho abierto y como resultado el agua de la Cascada de Gracia tiene una coloración fuerte debido a la presencia de sustancias tánicas que resultan de la descomposición de hojas, raíces, etc., que caen constantemente en el agua. Debido a ello, se ha comprobado que a pesar de que en ambos lagos existen las mismas especies de algas, el número que se ha encontrado en el segundo es mucho menor que en la represa de Pedro Beicht. En este caso, la influencia del color, está confirmada además por lo siguiente: a pesar de que la represa de Pedro Beicht es mucho más profunda que la Cascada de Gracia, el número de algas es casi constante desde la superficie hasta el fondo; mientras que en la represa pequeña, que tiene apenas tres metros de profundidad, las zonas superficiales son mucho más ricas en algas que las zonas profundas.

En general, se procura sacar partido de esa propiedad, de dos maneras diferentes: Se aumenta la turbidez del agua por medio del carbón en polvo, esparcido sobre la superficie. Este método es llamado de "black out" y también puede emplearse otros pigmentos o aún una gran cantidad de bolas negras de plástico que floten sobre la superficie del agua, de modo que impidan la penetración de gran parte de la luz solar. Este procedimiento se puede emplear solamente en lagunas de área limitada y que no sufran mucho de la acción del viento que tiende a arrastrar las partículas (en caso del carbón en polvo) hacia las riberas. Los reservorios y canales de distribución deben estar, de preferencia, totalmente cubiertos con techo de cemento o cualquier otro material.

El segundo método consiste en captar el agua a mayores profundidades por medio de sistemas de captación con varias compuertas, de tal modo que se pueda escoger la profundidad conveniente en cada época del año, de acuerdo con la cantidad y los tipos de algas presentes. La toma del agua muy próxima al fondo puede traer el inconveniente de obtener aguas muy pobres en oxígeno y más bien ricas en fierro o manganeso, los que deben ser eliminados posteriormente.

4.2.2.2.4. Otros factores.

Otros factores pueden ser limitantes, en casos específicos. Las bacterias que oxidan el fierro durante sus procesos vitales, pueden proliferar solamente en aguas que contengan ese elemento. Por otro lado, las sulfobacterias exigen la presencia de compuestos de azufre y pueden proliferar en abundancia en las aguas que reciben ciertos tipos de desechos. Las plantas acuáticas superiores, además de tener las exigencias de las algas, también tienen otras con relación a la naturaleza del material que conforma el fondo en el cual se fijan, etc.

4.3. Levantamiento Sanitario.

Si en un proyecto de aprovechamiento de fuentes para agua potable se tiene la posibilidad de poder anticipar el futuro desarrollo de organismos nocivos, así como de adoptar, en vista de tales previsiones, medidas preventivas que procuren, de manera económica la limitación de esos organismos, es aconsejable en todo caso, la realización de levantamientos sanitarios completos de los cursos de agua o embalses que han de ser utilizados. Ese mismo tipo de levantamiento se puede y debe realizar en fuentes que ya se encuentran en uso siempre que exista el peligro de la alteración progresiva de las características del agua en virtud, sobre todo, de los desechos industriales, desagües domésticos, etc. que son arrojados en ellas.

4.4. Control Correctivo.

4.4.1. Bacterias y Virus .

El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos, basán

dose principalmente en los trabajos de Streeter, recomienda que las aguas que contienen más de 1 bacteria del grupo coliforme - por cada 100 ml, deben ser sometidas a tratamiento antes de ser distribuidas a la población. También, considera que un agua con un contenido hasta de 50 coliformes por 100 ml puede transformarse en buena, desde el punto de vista de la salud pública, si se la somete a una simple cloración. Las aguas que contengan un número mayor de coliformes deben ser sometidas a un tratamiento completo que incluya filtración lenta (o coagulación, sedimentación, filtración rápida) y cloración. Finalmente, no admite que las aguas que contienen un número de coliformes superior a 5,000 por 100 ml puedan ser tratadas satisfactoriamente (12). Ultimamente, debido al perfeccionamiento de los procesos de tratamiento, y especialmente de los métodos de control de cloro residual, ha sido posible en plantas de tratamiento muy bien equipadas, obtener aguas tratadas en forma satisfactoria, desde el punto de vista higiénico, aún a partir de aguas que contenían índices más elevados de bacterias coliformes. El empleo de la precloración, es decir, la aplicación de cloro en el agua bruta, antes de la sedimentación o por lo menos antes de la filtración, así como el mantener una alta concentración de cloro residual (hasta de 1 mg/l) han hecho posible la obtención de esos resultados.

Trabajos recientes (13) (14) confirman hasta cierto punto las conclusiones alcanzadas por Streeter. Están de acuerdo en que una reducción de aproximadamente 98% del número de coliformes se puede obtener mediante la coagulación, sedimentación y filtración en las plantas de tratamiento y que esos procesos son indispensables en el tratamiento de aguas con más de 60 coliformes por 100 ml, para remover el material que está en forma de partículas que puedan proteger a las bacterias contra la desinfección por cloro. La inspección de gran número de plantas de tratamiento norteamericanas que tratan aguas brutas que contienen números superiores a los 5,000 coliformes por 100 ml en promedio (la mayoría de ellas acusaban coliformes entre 5,000 y 50,000 por 100 ml y algunas aún con números superiores), reveló que un tratamiento bien cuidado y una precloración intensa puede permitir efluentes de buena calidad bacteriológica. También se sugiere la necesidad de incluir en las plantas de tratamiento, además de los equipos de precisión, un personal técnico altamente calificado. Se deben estudiar los puntos de aplicación de cloro, mantener rigurosamente los niveles de cloro residual, realizar las determinaciones con gran frecuencia, y disponer de sistemas automáticos para elevar la dosis de cloro, sobre todo si se trata de aguas cuya demanda oscila con mucha frecuencia.

Sin embargo, se debe tener en cuenta el hecho de que todas esas determinaciones y los procesos de control se basan en los índices de coliformes los cuales, es verdad, no son organismos de interés sanitario. Y cuando se utiliza tales índices para fines de desinfección, el ingeniero sanitario parte de la premisa de que siendo los organismos patógenos más susceptibles a la acción del tratamiento que los coliformes, deben morir primero. Aunque esto sea cierto para las bacterias que causan la

fiebre tifoidea, el cólera, las disenterías bacilares, etc., es discutible que se pueda aplicar a todos los organismos patógenos transportados por el agua. Así, Walton asegura que "aunque las bacterias sean sin duda alguna removidas en los procesos de tratamiento de los desagües, nuestro conocimiento acerca de otros organismos patógenos es muy limitado" (14) y además que: "El tratamiento para eliminar las bacterias coliformes puede no ser el adecuado para destruir a todos los organismos patógenos" (13). Realmente, la finalidad del tratamiento no es eliminar coliformes sino bacterias patógenas, así como también virus, protozoarios y otros organismos capaces de transmitir enfermedades. Con respecto a este problema, se debe tener presente lo que sucedió en la ciudad de Nueva Delhi, India, caso en que aproximadamente 1'000,000 de personas (de una población de 1'700,000) fueron infectadas por el virus de la hepatitis infecciosa, al consumir aguas aparentemente seguras desde el punto de vista de los coliformes (15). El agua de abastecimiento recibía el tratamiento de presedimentación, coagulación y floculación con sulfato de aluminio, sedimentación de seis horas, filtración en filtros rápidos de arena, post-cloración con cloro combinado (cloraminas). Los reservorios de distribución del agua en la ciudad tenían, cuando brotó la epidemia, de 0.15 a 0.20 mg/l de cloro residual. Los datos obtenidos sobre coliformes no indicaban evidencia de contaminación. Se salvó de la infección, una parte de la población que se abastecía con agua proveniente de una planta de tratamiento (Okhla) que estaba ubicada aguas abajo del mismo río y por lo tanto sujeta a mucho mayor contaminación, pero en su tratamiento incluía precloración y utilizaba cloro libre, en lugar de cloro combinado. A pesar de que, como se sabe, el uso de cloraminas ofrece varias ventajas sobre el cloro libre, principalmente en poder mantener constante el cloro residual, el control del gusto y el olor, etc., su eficiencia como germicida llega a ser cerca de diez veces menor.

La legislación paulista (Decreto N°24806, de 1955) admite como aceptable un límite máximo de 5,000 coliformes por 100 ml para un tratamiento que incluya filtración y post-cloración; para números superiores, hasta un máximo de 20,000 por 100 ml exige precloración. Mantener esos límites indica el cumplimiento de un criterio muy prudente de parte de las autoridades y que no debe ser alterado a no ser (por absoluta necesidad) de que se disponga de un equipo técnico perfecto y de un personal capacitado, sobre todo para controlar los virus en las aguas de abastecimiento y para mantener un nivel constante de cloro residual en la pre-desinfección.

4.4.1.1. Cloración.

Sin duda alguna, el cloro es el bactericida más empleado en aguas de abastecimiento, así como también en piscinas, etc., debido a su elevada capacidad tóxica, a su costo relativamente bajo y facilidad de aplicación que lo caracterizan. Su eficiencia sobre las bacterias patógenas intestinales es bien conocida y además ha sido empleado con éxito en el control de bacterias de vida libre, especialmente de las bacterias ferruginas.

del género Crenothrix que causan obstrucciones y corrosión en las tuberías de fierro, las cuales pueden ser destruidas con cloro en concentraciones residuales de 0.5 a 1.0 mg/l (16) (17).

Los actinomicetos y sus esporas son destruidas casi totalmente por 1 ml de cloro en apenas 30 segundos de contacto (18)

No se ha determinado todavía suficiente y definitivamente la manera en la cual el cloro ejerce su acción tóxica. Se sabe que el cloro gaseoso al disolverse en el agua pura reacciona con ella para dar formación al ácido hipocloroso (HOCl) y el ácido clorhídrico (HCl) y también está demostrado que la acción germicida se debe principalmente al ácido hipocloroso, dependiendo su mayor o menor eficiencia principalmente de la resistencia que ofrece la pared celular de los organismos a la difusión del compuesto (19). La molécula de ácido hipocloroso es de pequeño tamaño y de poca carga, y en general atraviesa con facilidad la membrana celular y reacciona con su contenido plasmático. Además el ácido hipocloroso se caracteriza por su inestabilidad, ya que puede desdoblarse dando origen a oxígeno activo y cloro, lo que le da alta capacidad oxidante. Existen varias teorías que procuran explicar el mecanismo de la acción tóxica sobre los organismos (3) (20):

1. La acción oxidante que el ácido hipocloroso ejerce sobre el contenido celular podría producir la coagulación, es decir, la pérdida de las características coloidales de sus proteínas interviniendo en los grupos aminados que ligan, entre sí, a los aminoácidos que constituyen la molécula proteica. Otra forma sería la oxidación de las enzimas responsables de los procesos de oxireducción en el metabolismo celular, de tal manera que provoque su interrupción causando una muerte rápida.

2. El cloro liberado del desdoblamiento del ácido hipocloroso podría, en lugar del oxígeno o junto con él, constituir el elemento activo, sustituyendo al hidrógeno en los grupos $=\text{NH}$ de las proteínas, formando un compuesto incompatible con la vida. Esta hipótesis es poco probable por lo que se conoce hoy con respecto a la hidrólisis del cloro. Para que hubiese en el agua cloro en estado gaseoso, sería necesario que el pH de aquella fuese inferior a 4.

3. La valencia del nitrógeno pasaría de 3 a 5, incorporando una molécula de agua, dando origen a una base que se ioniza y reacciona directamente con el ácido hipocloroso.

4. El oxígeno activo en estado nascente y el cloro resultante del desdoblamiento del ácido hipocloroso podrían reaccionar con los compuestos que tiene doble enlace no saturado y que eventualmente existen en el plasma celular, dando origen a la formación de compuestos tóxicos que causarían la destrucción (lysis) de la célula en lugar de una coagulación.

5. El ácido hipocloroso (o el ácido clorhídrico) podría reaccionar con las proteínas del plasma, dando origen a sales o

formando precipitados insolubles o en todo caso desnaturando las proteínas celulares.

Además, se sabe que la actividad bactericida del cloro en el agua es muy acentuada en pH bajos, debido al desplazamiento del equilibrio entre el ácido hipocloroso no disociado y el disociado. La destrucción de las bacterias a un pH igual a 9.0 requiere, muchas veces, mayor tiempo que el requerido en un agua a un pH neutro. Sin embargo se cree actualmente, como más probable, la actividad del cloro a través de la oxidación de las enzimas en una de las etapas del llamado "ciclo de Krebs", o sea, de la cadena de reacciones de oxidación y reducción en el metabolismo celular y eso explicaría la mayor resistencia que, en general, presentan los virus, a la acción del cloro. Los virus no poseen enzimas y, por ello, su destrucción depende más bien de la desnaturación directa de los compuestos orgánicos que los constituyen.

Algunos autores (2) admiten la posibilidad de que el cloro, cuando se aplica en cantidades insuficientes, puede producir algunas modificaciones en el comportamiento fisiológico de la célula, sin llegar a destruirla. Por ejemplo, se explica así el hecho de que las bacterias coliformes, después de una cloración insuficiente, no puedan desarrollarse más en el medio verde brillante bilis empleado en las pruebas confirmativas. No se debe olvidar esta hipótesis en los casos de brotes de enfermedades intestinales producidas por las aguas que fueron declaradas seguras, desde el punto de vista bacteriológico, en virtud de los resultados de las pruebas confirmativas. Casos de este tipo ocurrieron en Minneapolis, Minnesota en 1955 y en Milwaukee, Wisconsin en 1938, causando gastroenteritis y fiebre tifoidea respectivamente, en poblaciones que se abastecían con aguas cloradas que en pruebas presuntivas arrojaban resultados positivos pero en las pruebas confirmativas daban resultados negativos. Por esta razón es preferible utilizar como criterio de eficiencia de la cloración los resultados obtenidos en las pruebas presuntivas y no en las confirmativas.

Algunos organismos patógenos son más resistentes al cloro que las bacterias coliformes. Así, por ejemplo, los virus, sobre todo los que causan la poliomielitis, la enfermedad de Coxsackie y la hepatitis infecciosa, aunque sean eliminados de un 95 a un 99% mediante la coagulación y sedimentación, son más resistentes a la acción del cloro que las bacterias patógenas y los coliformes, requiriendo a veces dosis de cloro residual mayores que 0.5 mg/l (dependiendo de factores tales como temperatura, pH y otros) para ser destruidos. Sin embargo, todos esos virus pueden ser destruidos con la precloración siempre que se pueda mantener una concentración de 1.0 mg/l de cloro residual durante cerca de 30 minutos y de que el agua no esté excesivamente polucionada con materia orgánica de tal modo que los virus estén protegidos por ella de la acción del cloro mediante envoltorios coloidales (21) (22). La Convención Anual de Philadelphia (23) sugirió en 1962, como medida única capaz de controlar o destruir los virus en el agua, la aplicación de una dosis de

cloro libre residual de 1 mg/l durante varias horas y en agua limpia. Sin embargo, afirma que difícilmente se puede establecer un padrón ideal para aguas de abastecimiento en lo que respecta a los virus, ya que los conocimientos que se tienen de ellos todavía son insuficientes.

Además, existen en el agua algunos organismos que pueden eventualmente proteger a las bacterias y virus patógenos de la acción del cloro. Algunos ejemplos están dados por las algas resistentes a dosis elevadas de cloro que dentro de sus envoltorios gelatinosos mantienen verdaderas masas de bacterias y algunas especies de gusanos nemátodos que ingieren bacterias, pueden resistir concentraciones hasta de 100 mg/l de cloro por tiempo limitado.

Con frecuencia se aplica cloraminas en lugar de cloro libre si se desea mantener una concentración más elevada de cloro residual y por mayor espacio de tiempo en la red de distribución, o aún, cuando existen problemas de producción de sabor y olor debidos a la actividad química del cloro. Sin embargo, las cloraminas son casi 10 veces menos efectivas que el cloro puro y al hacer la determinación del cloro residual se debe tener cuidado de mencionar si se trata de una forma de cloro o de la otra.

4.4.1.2. Otros Desinfectantes.

Además del cloro se han empleado otros desinfectantes para combatir a ciertas bacterias. Así, para el control de las ferrobacterias, como la Crenothrix, se ha empleado el sulfato de cobre en dosis de 0.3 a 0.5 mg/l (16). Se ha experimentado con otras sustancias como sustitutos del cloro para destruir los virus y bacterias patógenas, sobre todo en el caso de ser éstos más resistentes que los coliformes a la cloración. El yodo ofrece algunas ventajas en la destrucción de los virus resistentes, aunque tiene el grave inconveniente de producir gusto y olor desagradables cuando está en concentraciones mayores que 10 mg/l. También, pueden ocurrir casos de sensibilidad alérgica al yodo. El control de algunos de esos virus se ha conseguido con concentraciones de 5 a 15 mg/l, a 25°C y con un tiempo de contacto de 6 a 2.25 minutos, respectivamente. Se recomienda el uso de esta sustancia en casos de tratamiento de emergencia de cantidades limitadas de agua (24) (25), así como para aguas contaminadas con quistes de Entamoeba histolítica, como se verá más adelante. Concentraciones de 0.3 a 1.0 mg/l de yodo son suficientes para el control de enterobacterias (26).

Se ha empleado con éxito, el ozono en el tratamiento de aguas, sobre todo de aquellas que no necesitan filtración. El ozono además de actuar como desinfectante es también eficiente en la reducción del color de las aguas, por oxidación, pudiendo obtenerse efluentes con menos de 10 unidades. Así, aguas que tenían 55 unidades de color después de un tratamiento con 4 mg/l de ozono bajaron a penas 10 unidades y con un costo relativamente bajo (27).