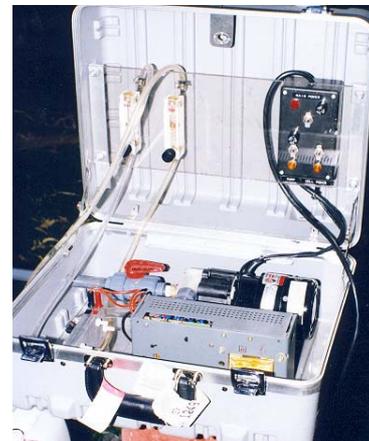


Capítulo 9

MÉTODOS ALTERNATIVOS



Introducción

Si desinfectar es eliminar los microorganismos patógenos que puedan afectar la salud humana, desde el punto de vista estricto de las posibilidades desinfectantes, existe un sinnúmero de posibilidades de aniquilar esas pequeñas formas de vida. Históricamente se han realizado experimentos en los que los cambios bruscos, continuos y radicales tan solo de pH han servido para desinfectar aguas contaminadas.

La temperatura también es un factor clave. La ebullición es tal vez el más conocido y viejo método de desinfección. Pero no es necesario llegar a 100° C; basta una adecuada relación entre temperatura y tiempo para que, tal como se ha visto en el capítulo sobre la SODIS, se produzca la desinfección por la denominada “pasteurización”. Otros experimentos han mostrado que los cambios bruscos y repentinos de alta a baja temperatura, sin requerimiento de tiempo de permanencia, también son efectivos para eliminar microorganismos.

A fines del siglo XIX, cuando ya se conocía la existencia de las bacterias y su relación con las enfermedades, se trabajó con presiones. Se colocaba agua contaminada en recipientes herméticos y se sometía a presión. Al cabo de unos minutos, la presión era llevada bruscamente a la presión atmosférica y el resultado era simple y llano: agua pura, libre de gérmenes.

Experimentos similares con agitaciones continuas y violentas por largos períodos también habrían resultado en desinfección. En ciertas culturas antiguas se colocaba el agua para bebida en jarrones de plata. Sin conocer el mecanismo, sabían que luego de un tiempo de contacto en esos recipientes, esa agua era segura para consumir. La lista es prácticamente interminable. Se pueden eliminar microorganismos mediante una variedad de metodologías.

Sin embargo, es obvio que solo pocas entre tantas posibilidades son viables. El poder de aniquilación únicamente no es suficiente. Debe ir acompañado de características específicas, como la simplicidad del equipo y la facilidad de operación y mantenimiento. Si se utilizan sustancias químicas, deben estar disponibles en el lugar de uso. Debe haber rapidez en la acción desinfectante y la economía del método es vital. No deben haber riesgos que sean excesivos ni deben cambiar las características del agua; ya se ha hablado del problema de los subproductos de la desinfección.

Todo ello limita la larga lista de “posibles” y este manual ha descrito en detalle (hasta este punto), solo aquellos que por sus características especiales han merecido tal distinción. Pero hay otros, que sin ser excesivamente obtusos y sin haber entrado en la categoría de los más dotados, presentan características intermedias. Son aquellos que han sido utilizados en situaciones especiales (por ejemplo, en emergencias y desastres) o los que están en etapa de experimentación o desarrollo, o que por solo una o dos razones específicas (por ejemplo, costo o limitación del caudal a tratar) son buenas pero no ocupan la primera línea. En este capítulo se hará una breve descripción de ellas como información necesaria para el ingeniero o técnico que desea conocer todas las posibilidades de la desinfección.

Desinfección con bromo

Descripción

____ Siendo de la familia de los halógenos, el bromo es muy parecido y actúa también en forma semejante al cloro: una vez disuelto en el agua produce ácido hipobromoso (HOBr) un primo hermano del ácido hipocloroso (HOCl). El poder de desinfección del HOBr es muy alto, aunque ligeramente menor que el del hipocloroso.

La ventaja del uso del bromo es que a temperatura ambiente es líquido, lo que lo hace más simple de manipular y dosificar que el cloro. Hay que destacar, sin embargo, que la sustancia como tal es corrosiva y agresiva, por lo su manejo también requiere mucho cuidado. Además, la

disponibilidad del bromo en cualquier país o ciudad no se compara con la fácil adquisición del cloro.

Efectos del bromo sobre la salud y producción de SPD

El bromo se vaporiza con mucha facilidad y los gases son muy agresivos, por lo que se debe evitar su inhalación. Hay que destacar que al igual que el cloro, tanto éste como el bromo no parecen indicar ningún potencial cancerígeno per se o cuando se disuelven en el agua. El agua clorada y el agua bromada no son cancerígenas. Pero el bromo al igual que el cloro, forma trihalometanos y si hay presencia de ácidos fúlvicos y de amoníaco en el agua cruda, entonces formará bromoformo. Este es el riesgo, pues estos compuestos sí son cancerígenos y al igual que muchos otros SPD son motivo de preocupación.

Acción desinfectante del bromo

Como se ha mencionado, el HOBr actúa de manera similar al HOCl; esto es, penetrando las membranas de las células de los microorganismos. Una vez dentro de la célula, su sola presencia parece “desorganizar” la estructura de aquellos pero atacan también reaccionando con grupos sulfhidrilos, inactivando enzimas y deteniendo el proceso metabólico, lo que lleva a la muerte del microorganismo.

Equipos

Al ser líquido, el bromo se dosifica por medio de una bomba de diafragma o pistón y sus requerimientos operativos como las medidas de seguridad son semejantes a las usadas y descritas para el cloro.

Monitoreo

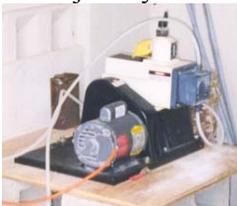
No existe una prueba específica para el bromo. En análisis de rutina y aunque el método está sujeto a interferencias, se utiliza el método de la orto-tolidina, tal como se emplea en la determinación de cloro.

Costos

Como se ha indicado, el bromo actúa en el agua de forma similar al cloro y podría haber sido tan popular como este último si no fuera por las diferencias de costo. A igualdad de equipos dosificadores, se estima que la bromación es cinco veces más cara que la cloración y a eso hay que sumarle la difícil disponibilidad del bromo.

Ventajas y desventajas de la desinfección con bromo

La desinfección con bromo presenta casi todas las ventajas de la cloración, pero tiene dos grandes desventajas frente a éste: su costo mucho más elevado y la dificultad para adquirirlo en cualquier comunidad, sobre todo en aquellas alejadas y menores de los países en desarrollo.



Desinfección con plata

Descripción

La mayoría de los metales presenta la propiedad llamada “oligodinamia” que significa “efecto o poder en pequeña cantidad”. Metales como la plata, el cobre, el mercurio, el manganeso y el hierro, entre otros, son potenciales desinfectantes del agua. Sin embargo, de todos ellos y por variadas razones, solo la plata ha tenido algún uso en la desinfección del agua para consumo humano y como tal ha sido utilizada desde la antigüedad.

Efectos de la plata sobre la salud y producción de SPD

La plata no es particularmente tóxica para los seres humanos y al ser ingerida, el cuerpo absorbe solo fracciones muy pequeñas de ella. En ciertos tratamientos médicos que usan dosis altas del metal se ha detectado descoloramiento de la piel, pelo y uñas (argirosis), pero en las concentraciones que se utilizan para desinfectar el agua, no se ha observado ese inconveniente. La OMS no ha propuesto un valor guía para la plata en el agua de bebida, precisamente por esa relativa seguridad que manifiesta. En el tratamiento con plata no se producen sabores, olores ni colores anormales en el agua. Tampoco hay formación de SPD.

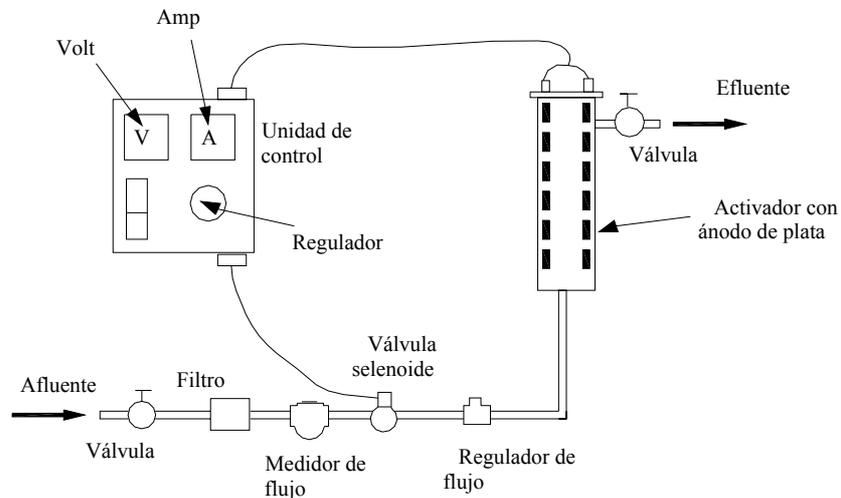
Acción desinfectante de la plata

La plata solo tiene propiedades desinfectantes en su estado coloidal, esto es cuando se presenta en partículas extremadamente pequeñas que permanecen en suspensión y que por su tamaño se cargan eléctricamente con mucha facilidad. En ese estado también es conocida como proteína de plata, sales de plata, proteína de plata ligera y proteína de plata fuerte. Las sales que se utilizan son: cloruro de plata y yoduro de plata.

La plata en su forma coloidal no elimina a los virus, pero se considera de gran eficacia para destruir diversas bacterias. El mecanismo de desinfección actúa por la inactivación de las enzimas de las células bacterianas y hongos que usan oxígeno para su metabolismo, pues causa una disrupción celular, aunque en tiempos muy variables y dependientes de la temperatura. Al respecto, a temperatura de 10 °C o menores se requieren tiempos muy largos, lo que hace difícil determinar el poder germicida con exactitud. La plata coloidal puede permanecer largo tiempo en el agua, pero debido a esa lentitud en las reacciones de eliminación de materia orgánica, se considera que la plata no posee un buen poder residual. Las dosis recomendadas para una alta eficiencia germicida están en el rango de 25 a 75 microgramos de plata por litro (0,025 – 0,075 mg/l).

Equipos

En la desinfección con plata se emplean tres métodos. El primero o “de contacto” requiere hacer pasar el agua a través de dispositivos saturados de plata, como tanques con paredes y pantallas recubiertas con pinturas especiales que la contienen. El segundo método consiste en dosificar soluciones de plata de baja concentración de la misma forma como se hace con las soluciones de cloro y empleando equipos y dosificadores similares. El tercer método, el electrolítico, parece ofrecer el procedimiento más práctico para usar la plata. Hace uso de un número de electrodos de plata conectados al polo positivo (ánodo) de una fuente eléctrica de bajo poder. Un electrodo inerte se usa como polo negativo, donde se produce y libera hidrógeno. Por electrólisis, los iones de plata son liberados por los electrodos dentro de la corriente de agua a ser tratada en proporción a la corriente suministrada. Esto es muy apropiado, pues mediante la variación de la corriente, se varía la dosificación.



Equipo electrolítico de plata típico.

El método electrolítico solamente se emplea en pequeños sistemas de abastecimiento de agua. Desde el punto de vista práctico y seguro, se precisa de cierto nivel de automatización y complejidad en el sistema de control, que debe tener sensores para verificar la correcta desinfección. Esto simplemente no se puede hacer en forma manual. También es recomendable tener una conexión a una válvula solenoide que pueda cortar automáticamente el flujo de agua en cualquier momento que el sistema no pueda producir la dosificación adecuada.

Monitoreo

En lo que respecta al monitoreo, no hay una prueba simple para la medición del contenido de plata en el agua y la que se aplica presenta un considerable error de exactitud. El método más efectivo es la dosificación del agua con cantidades controlables de plata; es decir, el control se efectúa básicamente en la dosificación y no en el control analítico después de la misma.

Costos

El costo de la pintura no es excesivamente alto, pero este método es el menos apropiado. Para una pequeña población, la dosificación de una solución requiere los equipos ya mencionados para el cloro, en donde la gama de bombas dosificadoras de diafragma es muy variable y los costos no son abultados. El costo de las soluciones, en cambio, es más elevado y en todo caso notoriamente más alto que las soluciones equivalentes de cloro con igual capacidad bactericida.

Para los pequeños sistemas, los equipos electrolíticos presentan costos considerables que van de \$ 1.000 en más. El costo final depende del tamaño, del caudal a desinfectar y de los equipos auxiliares. En lo que respecta al costo de operación de estos últimos equipos, además del costo de la solución de plata, debe considerarse el costo de la energía eléctrica. En lo que respecta al mantenimiento, éste también es de consideración porque el reemplazo de los electrodos es

relativamente frecuente, puesto que son la única fuente de iones de plata y se gastan relativamente rápido.

Ventajas y desventajas de la desinfección con plata

Las aparentes virtudes de la plata para el tratamiento del agua son que no produce sabor, olor ni color en el agua tratada y no hay formación de productos adicionales.

Es una metodología muy simple y fácil de manejar en las áreas rurales del mundo en desarrollo. Por ello puede ser utilizada en los planes de desinfección del agua en el nivel familiar.

____ Su desventaja es que resulta difícil controlar la dosificación por falta de un método simple de análisis de laboratorio. La segunda desventaja, y esta ha sido históricamente una barrera casi infranqueable, es que los costos de producción son altos. Tanto el método electrolítico donde los electrodos necesarios para producir los iones de plata se desgastan relativamente rápido, como la dosificación de plata coloidal son de alto costo. Se estima que el costo de la desinfección con plata resulta 200 a 300 veces superior al costo de la cloración.

Desinfección con yodo

Descripción

El yodo pertenece a la familia de los halógenos y a temperatura ambiente es sólido. Tiene baja solubilidad en el agua y es la sustancia menos agresiva de su familia (cloro + bromo).

Efectos del yodo sobre la salud y producción de SPD

A diferencia del cloro y el bromo, sustancias que per se no producen problemas cuando se ingieren en las concentraciones normales que se encuentran en el agua, el yodo sí presenta problemas por sí mismo. En realidad, la preocupación cuando se utiliza el yodo no está tanto en los SPD, sino en su misma acción.

Si bien el yodo es indispensable para la síntesis de las hormonas de la tiroides, no está claro qué ocurre cuando se suministra en el agua de consumo con eventuales excesos. En el mundo se han registrado numerosos casos de “yodismo”, lo que puede definirse como una reacción alérgica de las personas hipersensibles al yodo cuando las dosis consumidas son mayores que las requeridas diariamente. Según la OMS, “el consumo de agua yodada no aparenta haber causado efectos adversos en la salud humana, a pesar de que se han observado algunos cambios en el estado de la glándula tiroides”. Asimismo, la OMS expresa en las “Guías OMS para la calidad del agua de bebida”, volumen 2, que: “existe poca información relevante sobre los efectos del yodo”. Y agrega que: “debido a que el yodo no es recomendado para la desinfección del agua por largos períodos de tiempo, la exposición al mismo a partir de la ingesta de agua de bebida es poco probable”.

Al igual que los otros miembros de su familia, esta sustancia produce SPD. Sin embargo, debido a su menor potencial de oxidación y menor reactividad, ésta genera menos THM que los otros.

Acción desinfectante del yodo

Al igual que el cloro y el bromo, una vez disuelto en el agua el yodo forma el hipo-ácido correspondiente (en este caso el hipoyodoso) HOI. Sin embargo, dependiendo del pH, una parte (que puede ser considerable), permanece en el agua como I₂. El siguiente cuadro da una idea de las

concentraciones relativas de cada compuesto dependiendo del pH y las mismas se han contrastado con las concentraciones relativas del ácido hipocloroso y del ión hipoclorito.

Porcentaje de especies del yodo y del cloro según el pH de la solución

pH	I ₂	HOI	OI-	Cl ₂	HOCl	OCl-
5	99	1	0	0	99,5	0,5
6	90	10	0	0	96,5	3,5
7	52	48	0	0	72,5	27,5
8	12	88	0,005	0	21,5	78,5

Cabe destacar que el ión hipoyodito no es un buen desinfectante, pero que tanto el I₂ como el ácido hipoyodoso sí lo son y además presentan características microbicidas muy deseables. Ambos son buenos bactericidas y destruyen inclusive esporas, quistes y virus.

Cuando se utiliza yodo como desinfectante de emergencia y en volúmenes pequeños, las dosis son mayores que las que se emplean en la desinfección de sistemas de agua. En estos casos es común utilizar soluciones desde 1 hasta 8 mg/l, con tiempos de contacto de 30 minutos como mínimo. Cuando se utiliza tintura de yodo, que se prepara con una concentración de 2%, se recomienda una dosis de dos gotas por litro de agua a desinfectar.

Equipos

El yodo puede ser adicionado al agua pasando una corriente de vapor a través de un manto de cristales de la sustancia y disolviendo luego el vapor en agua. Sin embargo, el método más recomendado es el de preparar una solución saturada pasando una corriente de agua por un lecho también de cristales de yodo y luego dosificarlos con una bomba de diafragma convencional.

Monitoreo

Hay dos métodos para determinar el yodo en el agua. El más utilizado es la titulación amperométrica y el segundo es la espectrofotometría utilizando como reactivo la N,N dimetilaniлина o leuco cristal violeta (LCV). Si bien no son métodos complicados, requieren cierto nivel de capacitación de los operadores o químicos de planta para realizar estas pruebas.

Costos

Como en el caso del bromo, a igualdad de una serie de parámetros de operación (equipos, sencillez, fácil manejo, etc.), tanto el costo (10 a 20 veces mayor) y la dificultad en obtenerlo en zonas alejadas en los países en desarrollo lo hacen muy poco competitivo con el cloro y sus derivados.

Ventajas y desventajas de la desinfección con yodo

Presenta la sencillez de la cloración. Sin embargo, el uso del yodo durante períodos prolongados para la desinfección del agua ha sido debatido por muchos organismos de salud, principalmente en relación con los efectos fisiológicos que el yodo puede ejercer en personas sensibles a esta sustancia. Y aunque no han habido pruebas contundentes ni información amplia ni confirmada, al tomar la decisión de implementar o no la yodación como método de desinfección se deben tomar esas consideraciones por encima de los costos superiores, que también son razones contundentes.

Su facilidad de manejo, en cambio, lo convierte en una buena opción para la desinfección en casos de emergencia.

Desinfección con dicloro isocianurato de sodio (NaDCC)

Descripción

El dicloro isocianurato de sodio, llamado muchas veces “isocianurato de sodio” y que se reconoce por la sigla “NaDCC”, es un compuesto que libera cloro en concentraciones muy precisas. Presenta una excelente capacidad de manipulación y una concentración alta de cloro activo (60%). Es muy práctico en su uso, y el agua tratada no tiene el olor y sabor que puede dejar un tratamiento con los compuestos de cloro usuales. Tiene una larga estabilidad lo que es ideal para mantenerlo en depósito por períodos de tiempo mucho mayores que cualquier otro compuesto de cloro. Se estima que en condiciones adecuadas puede sobrepasar los cinco años de almacenamiento sin perder su potencia.

Efectos del NaDCC sobre la salud y producción de SPD

Como se verá en el punto siguiente, el NaDCC al ser disuelto en agua produce una molécula de cianurato de sodio. No está claro cual es la acción de este compuesto, así como la del mismo isocianurato sobre la salud humana; y es precisamente esta falta de información la que ha evitado el uso indiscriminado del método a pesar de todas sus bondades.

La OMS ha expresado que “existe preocupación sobre el potencial tóxico que pudiera tener el NaDCC sobretodo en usos prolongados como desinfectante de aguas para consumo humano” y agrega que: “la causa de esa preocupación es la falta de suficiente evidencia sanitaria y toxicológica para emitir un juicio definitivo”.

Esto significa que no se condena a este compuesto porque sea perjudicial para la salud, sino que simplemente no se aconseja su uso en desinfección prolongada, debido a la falta de información tanto sobre los daños que pueda causar en la salud, como así también por la falta de conocimientos sobre su inocuidad.

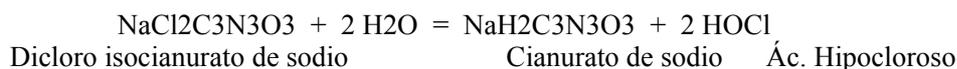
Esta situación muy posiblemente se aclarará con los estudios que se vayan realizando y la información que se comience a evaluar a nivel mundial; pero por el momento, el uso de este compuesto solo es recomendado en algunos países para desinfecciones de emergencia, lo que tácitamente está suponiendo que su uso será por espacios cortos de tiempo.

En relación a los SPD, se está en la misma situación. No solo no se conoce los problemas derivados de los eventuales SPD generados a partir de los cianuratos, sino que sumados a esos eventuales, deben contarse los clásicos SPD del ácido hipocloroso, entre los que ya se han mencionado en numerosas oportunidades a los THM.

Todo lo analizado en el caso del isocianurato de sodio permite elaborar la siguiente sugerencia: Desinfección sistemática no. Desinfección de emergencia sí.

Acción desinfectante del NaDCC

El dicloro isocianurato de sodio, es un compuesto orgánico derivado del isocianurato que cuando se disuelve en el agua libera ácido hipocloroso según la siguiente reacción:



Su potencial desinfectante deriva de la presencia del último de los compuestos, el ácido hipocloroso, cuyas cualidades se han descrito en el capítulo 3.

Equipos

Se utiliza cualquier equipo dosificador de los ya mencionados en el capítulo del cloro, ya que el NaDCC se disuelve en agua para formar una solución típica.

Monitoreo

Lo que se monitorea es el cloro residual, por lo que tanto el método del DPD o de la ortotolidina son viables.

Costos

Son ligeramente mayores que los compuestos tradicionales del cloro, tales como hipoclorito de sodio o calcio.

Ventajas y desventajas de la desinfección con NaDCC

Entre las ventajas se destacan la simplicidad, estabilidad y facilidad de manejo del compuesto. No deja los olores ni sabores característicos de otros compuestos de cloro. Deja un residual.

La mayor contra es la falta de evidencia en cuanto a su inocuidad cuando consumido por largos períodos de tiempo.

Desinfección con mezcla de gases oxidantes

Descripción

Si bien en la primera mitad del siglo XIX Faraday sentó las bases de la electrólisis y trabajó extensamente en la producción de cloro a partir de cloruro de sodio, tal técnica quedó desde aquellos tiempos hasta la era actual, como una importante rama de la industria pesada moderna, de la que la ingeniería sanitaria hizo uso con la incorporación masiva del cloro como desinfectante del agua.

En la década de 1970 y posiblemente influenciados por los nuevos conceptos de la tecnología apropiada, que surgió como una forma de remediar la falta de una tecnología realista y aceptable por las comunidades rurales de los países en desarrollo, hubo un vuelco en la percepción de la electrólisis de Faraday. Ya no se la veía como una técnica solo factible de operar en grandes fábricas, sino como la base para una metodología simple, que con solo electricidad y sal de mesa (cloruro de sodio), permitía a las pequeñas comunidades y aún a los usuarios individuales, la preparación de su propio cloro *in situ*, en su propia casa.

Surgen así investigadores que concentran su trabajo en reducir la escala, desde la gran fábrica al taller rural, a la planta de tratamiento del pequeño pueblo, a la casa de familia. Se producen entonces una serie de equipos de electrólisis, los que se pueden dividir en dos grandes grupos: la

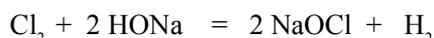
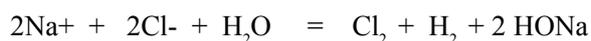
electrólisis con membrana y sin membrana. Los equipos de membrana reproducen la técnica de la producción industrial del cloro y los equipos sin membrana producen soluciones de hipoclorito de baja concentración.

Un hecho interesante acompaña a las investigaciones de estos equipos. Tratando de escapar de las restricciones que las numerosas patentes plantean a cualquier electrólisis de cloruro de sodio, los investigadores juegan con la posición de los electrodos, especialmente con los ánodos dimensionalmente estables (DS Anodes), y producen equipos que no solo generan cloro, sino que por las disposiciones de los electrodos, también generan otras especies altamente oxidantes, entre las que se cuentan radicales de variados tipos: ozono, oxígeno naciente, oxígeno atómico y otros. Esta mezcla de gases oxidantes es denominada genéricamente por la OPS como MOGGOD (mixed oxidant gases generated on site for disinfection o mezcla de gases oxidantes generados *in situ* para desinfección). Estos gases configuraban una mezcla altamente concentrada y oxidante debido a que la producción en la celda electrolítica estaba independizada en semiceldas separadas.

El compartimento catódico producía hidrógeno y el anódico los gases oxidantes. Ambos compartimentos o semiceldas estaban separados por una membrana especial, solo permeable a ciertos iones.

Esta peculiaridad, la membrana, fue responsable del éxito inicial y del fracaso siguiente, ya que la membrana requería una operación delicada y un mantenimiento, que aunque simple, era imprescindible para que el equipo operara en forma óptima. En la década de 1980, se instalaron muchos equipos en pequeñas comunidades, pero pocos sobrevivieron a las necesidades de operación y mantenimiento que el medio rural de los países en desarrollo no podía brindarles y hoy son muy pocos los que sobreviven.

La otra técnica, la de electrólisis sin membrana, es mucho más simple. Se trata tan solo de dejar que la producción de cloro en el medio básico siga su ruta de reacciones químicas y produzca sin mucha intervención ni riesgo una solución, que si bien es muy débil (generalmente es una solución de 0,6% en cloro activo), es fácil de utilizar y manipular. Este proceso no es obviamente la producción de mezcla de gases oxidantes, pero se incluye aquí pues su origen fue común. El hipoclorito se produce según la siguiente reacción:



Si bien los sistemas MOGGOD tuvieron un inicio promisorio, la necesidad de operación y mantenimiento hizo que solo tuvieran éxito aquellos de producción de hipoclorito.

Efectos de la mezcla de gases oxidantes sobre la salud y producción de SPS

Como estos equipos básicamente son productores de cloro, son válidas todas las consideraciones sobre efectos de salud y sobre producción, manejo y riesgos relacionados con los SPD del cloro, tal como fuera mencionado en el capítulo 3.

Acción desinfectante de la mezcla de gases oxidantes

Se aplican las mismas consideraciones que para el cloro. Sin embargo, se debe destacar que en el caso de los MOGGOD, algunos componentes de la mezcla producían una acción tan fuerte y

tan sinérgica (ver más adelante en este mismo capítulo) que se pensó que ningún microorganismo ni ningún compuesto orgánico podría resistir tal poder oxidante.

Equipos

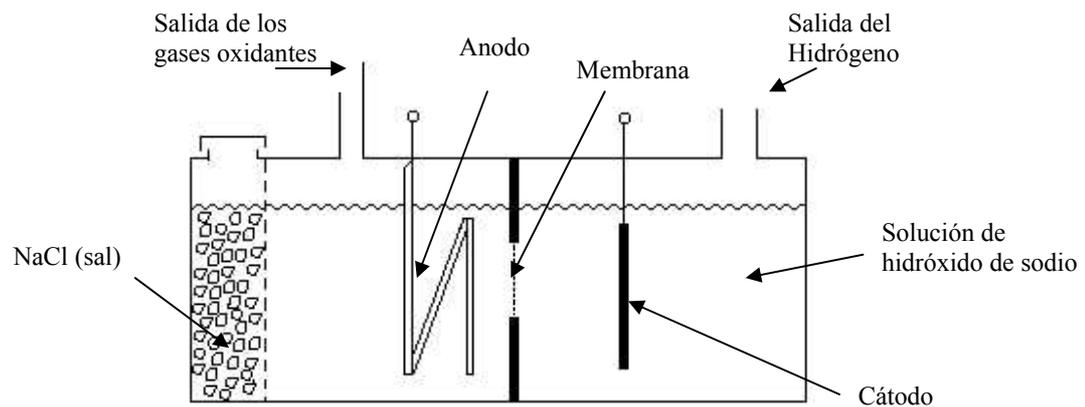
En el caso de los productores de hipoclorito *in situ*, ya se vieron los equipos en el capítulo 3 “Cloro”.

Unos pocos equipos diseñados en los Estados Unidos producen hipoclorito *in situ*, pero dentro de una corriente de agua y existen unos 200 de ellos en parques nacionales y pequeñas comunidades de ese país.

La siguiente figura muestra los componentes de un equipo MOGGOD.

Los gases oxidantes que salen del equipo son inyectados en una tubería que cuenta con un Venturi.

Equipo de producción de hipoclorito dentro de una corriente de agua



Equipo MOOGOD

Monitoreo

Los gases oxidantes se monitorean exactamente igual que el cloro residual y las técnicas empleadas son también las mismas: orto-tolidina y DPD.

Costos

En general, los equipos MOGGOD eran pequeños, con pocas excepciones de equipos grandes. El rango de precios variaba desde US\$ 500 hasta US\$ 4.000. Los costos operativos son muy bajos, ya que la sal de mesa (el insumo principal) siempre tuvo y tiene un costo sumamente reducido. Al trabajar con bajo amperaje, la electricidad tampoco representaba costos considerables.

Ventajas y desventajas de la desinfección con mezcla de gases oxidantes

Los equipos de producción de hipoclorito *in situ* están dando buenos resultados. Una vez producida la solución de hipoclorito, las posibilidades que se abren son 1) dosificarlo en sistemas de agua potable, 2) usarlo para desinfectar el agua, pero no en el nivel comunitario, sino unifamiliar y 3) efectuar programas de distribución de frascos con hipoclorito para la desinfección casera. Si bien han habido avances en los tres campos, la fase de producción de hipoclorito en un nivel centralizado (un hospital, una escuela, un centro comunitario) y la distribución a un número determinado de familias es la que más éxito ha tenido.

Desinfección por radiación

Descripción

En el capítulo 4 se abordó el tema de la desinfección ultravioleta, que consiste simplemente en colocar una sustancia (en este caso el agua) ante una radiación de una cierta longitud de onda.

Existen otros dos tipos de radiación que solo se han usado experimentalmente, pero que potencialmente podrían utilizarse en el futuro con buena capacidad de desinfección. Esas radiaciones son las “gamma” y las “X”.

Efectos de la radiación sobre la salud y producción de SPS

Al igual que con las radiaciones ultravioletas, no se presentan problemas sanitarios ni SPD.

Acción desinfectante de la radiación

Cualquier radiación está caracterizada por una longitud de onda particular. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda, lo que significa que a menor longitud de onda mayor frecuencia; y es casi intuitivo que una mayor frecuencia está asociada con una mayor fuerza o energía. De hecho así es, y siendo las radiaciones gamma y X de mayor frecuencia que la ultravioleta, su energía es mayor, por lo tanto, su capacidad bactericida es mejor que la de esta radiación.

Se han reconocido dos mecanismos de desinfección por radiación: uno donde la potencia de la radiación daña el DNA del microorganismo y el segundo donde el choque de aquella contra algunos átomos de oxígeno componentes de la célula o células genera ozono y otros radicales que la disturban hasta su aniquilación.

Equipos

No existen equipos específicos para el tratamiento de agua por radiación gamma o X. Los que existen están basados en las emisiones de bombas de cobalto; son bastante complicados y su operación si bien no es difícil, requiere personal especialmente capacitado.

Costos

No hay datos fidedignos de los costos de este tipo de tratamiento del agua y dadas sus pocas posibilidades de ser una técnica de uso extendido, tampoco se han hecho estudios comparativos entre las diferencias de desinfectar comestibles y agua. Sin embargo, no hay duda de que si se implementara esta técnica ahora, sus costos serían muy superiores a los métodos de desinfección más tradicionales y extendidos.

Métodos de desinfección sinérgicos

Descripción

Según el diccionario, el término “*sinergia*” significa “la interacción y actividad combinada de dos o más entes biológicos, sustancias o componentes. La resultante es cualitativa y cuantitativamente distinta de la sumatoria de las capacidades individuales”. Dicho de otra forma, en la sinergia se cumple que: $1 + 1 > 2$; pudiendo ser el resultado por ejemplo: 0,7 ó 3.

En el caso específico de las sustancias utilizadas como desinfectantes, si sumando las capacidades individuales de cada uno de ellos se obtuviera una capacidad resultante mayor que la suma de las dos (en el caso del ejemplo, si sumando $1 + 1$ se obtuviera 3), entonces se habría descubierto una nueva sustancia mucho más potente o con mejores atributos que cualquiera de los atributos de las dos sustancias individuales y aún de los atributos sumados de ellas dos. Eso es lo que ocurre exactamente en algunos casos especiales. Y eso es lo que se llama “sinergia de la desinfección”.

No existen muchos de ellos, pero los que se mencionan a continuación son promisorios y hablan de un nuevo campo que se irá agrandando y enriqueciendo con nuevas investigaciones, experiencias y descubrimientos.

Los casos que más se han estudiado son los siguientes:

- 1 Plata/peróxido de hidrógeno
- 1 Plata/cobre
- 1 Plata/cobre/cloro
- 1 Yodo/cloro
- 1 Ozono/peróxido de hidrógeno
- 1 Ozono/UV.

Efectos de los métodos de desinfección sinérgicos sobre la salud y producción de SPS

Existe información sobre cada una de las sustancias desinfectantes por separado, pero como se ha dicho, si la resultante de la unión no tiene los mismos atributos que los componentes individuales, entonces también se debe suponer que los efectos sobre la salud o la formación de SPD no serán necesariamente los esperados. Puede haber sorpresas y serán necesarios largos

estudios para llegar a la certeza de la inocuidad o para determinar el nivel de riesgo asociado con cada producto sinérgico.

Acción desinfectante de los métodos sinérgicos

En todos los casos, la acción desinfectante es mucho mayor que la suma de cada sustancia componente del producto sinérgico. Los mecanismos no siempre se han llegado a conocer, pero la mayoría son los que ya se han mencionado (oxidación, destrucción de enzimas, disturbios en los mecanismos de vida y reproducción de las células, etc.), pero obviamente todos ellos ampliados y potenciados.

Equipos

No difieren de los equipos que utilizan cada una de las técnicas individual-mente. En el caso del método yodo/cloro, la dosificación de cada uno de ellos o de la mezcla, se realiza por medio de las mismas bombas dosificadoras de diafragma.

Monitoreo

No hay mucha información sobre estos monitoreos, pero se sobreentiende que responden a las técnicas normales de detección química vigentes.

Costos

No hay clara información sobre costos, pero sin lugar a dudas son mayores que los costos de uso de cada sustancia individualmente.

Ventajas y desventajas de los métodos de desinfección sinérgicos

La ventaja es un gran poder desinfectante que en algunos casos elimina los riesgos y peligros asociados al uso de las sustancias en forma individual. Un caso típico es la disminución de los SPD.

Filtros de nivel familiar

Descripción

Si bien los pequeños filtros caseros no tienen capacidad para tratar volúmenes considerables de agua, se incluyen en este manual porque si están bien manejados y acompañados de programas de información y educación comunitaria representan una forma importante de mejorar la calidad del agua consumida por la población dispersa en las áreas rurales.

El tema es un tanto conflictivo pues en el mercado existe una cantidad enorme de filtros, con una gama de procesos (técnicas) y una variedad de formas y capacidades, que hacen muy difícil su clasificación y calificación. Es también importante destacar que muchos de esos filtros están confeccionados de forma comercial y no científica. Muchos de ellos están hechos para ganar dinero y no necesariamente son lo que proclaman ser.

Finalmente es altamente importante recalcar la necesidad de que el usuario mantenga una conducta sin fallas respecto a la limpieza de los elementos y al cambio de los cartuchos. De no ser así, tal como se comentará, estos filtros pueden transformarse en un problema mayor que el que pretendían solucionar.

Los filtros caseros se usan para: 1) eliminar la turbiedad, 2) remover olores y sabores y algunas sustancias orgánicas, entre ellas los SPD, y 3) desinfectar. Algunos equipos solo cubren una de esas funciones, mientras otros satisfacen dos o los tres propósitos mencionados. Obviamente que si se desea agua segura, deberá utilizarse la variedad de filtro que permita la desinfección.

En los filtros caseros, la desinfección se realiza por filtrado o por algún método físico o químico. En el primer caso, el agua pasa por velas de poro muy pequeño que retiene hasta microorganismos bacterianos. Son velas de cerámica de poro generalmente menor de 0,4 micrones de diámetro.

En el segundo caso, los filtros desinfectantes más comunes emplean UV o arenas recubiertas de plata.

No hay comentarios especiales sobre este tema, pues ya se han comentado al hablar de las radiaciones UV y la desinfección con plata. Estos filtros práctica-mente no tienen posibilidad de producir SPD (con una aclaración que se verá en el próximo punto).



Sistema CEPIS

Filtro con velas colocadas dentro de arena fina y con una cubierta superior de geotextil para reducir la colmatación de las velas. El agua filtrada se recoge en la parte inferior y se mantiene allí protegida hasta su consumo.

Acción desinfectante de los filtros de nivel familiar

Al igual que con el tema de los efectos sobre la salud, la acción desinfectante se ha comentado anteriormente al describir la radiación UV. En el caso de las velas cerámicas, el efecto es simplemente mecánico. El microorganismo queda retenido en los poros del filtro que son menores en diámetro que el tamaño de aquél. Es precisamente aquí donde surge la necesidad de un comentario importante.

En muchas oportunidades se ha comprobado que la carga bacteriana del efluente de un filtro casero es mayor que la del agua cruda que entra al mismo. La explicación es que los microorganismos que van quedando retenidos son materia orgánica muerta, que lentamente se va acumulando y pasa a ser alimento nutritivo para los nuevos microorganismos que van llegando. El pasaje por los poros de unos pocos microorganismos (cosa posible en este contexto de enorme profusión y saturación) crea colonias “del otro lado del filtro” y lentamente todo el filtro (de uno y otro lado de la cerámica) se transforma en una masa de microbios. En la jerga de la química y la ingeniería sanitaria se llama a muchos de estos filtros “los nidales”, pues allí las bacterias tienen las condiciones ideales para multiplicarse.

Esto de ningún modo quiere decir que los filtros caseros sean malos o riesgosos. Lo que es riesgoso es la conducta de los usuarios, ya que el problema de los nidales aparece cuando se ha sobrepasado la capacidad del filtro, situación que ocurre cuando las aguas crudas son excesivamente turbias y contaminadas y cuando el usuario no limpia el filtro o no cambia los cartuchos y velas con la periodicidad aconsejada por el fabricante. Es por ello que siempre se recomiendan acciones de seguimiento y permanentes campañas de motivación y educación para que la gente opere estos elementos como es requerido.

Equipos

Existe gran número de estos sistemas. Tomando las posibilidades más usuales: un cartucho de papel o celulosa grueso para eliminar la turbiedad grosera, un filtro de vela o un elemento con una lámpara UV para eliminar microorganismos y un cartucho de carbón activado para eliminar olores y sabores, se puede armar un sistema y con seguridad se va a encontrar esa opción en el mercado.



Asimismo, los caudales son también variados, desde aquellos que tratan varios metros cúbicos por día hasta los pequeños que se colocan a la salida del grifo y que filtran unos pocos litros por día.

Monitoreo

No existen formas simples de monitorear. Solo se puede monitorear a través de análisis bacteriológicos, los que no siempre son posibles en el medio donde se emplean estos filtros.

Costos

Los costos son muy variados, desde unas pocas decenas hasta un millar de dólares para los verdaderamente sofisticados y completos.

Fuentes de información

AWWA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th Edition (1995).

OMS, *Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. Volumen 1.* (1995).

Reiff, F.; Witt, V. *Guía para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe;* Documento OPS/OMS, Serie Técnica No. 30 (1995).

Rojas, R., Guevara, S. *Celdas electrolíticas para producción in situ de hipoclorito de sodio.* Publicación CEPIS/GTZ (1999).

WHO. *Guidelines for drinking water quality, Health criteria and other supporting information.* Volume 2 (1996).

WHO/WRC. *Disinfection of rural and small community water supplies* (1989).