

## YODACION DEL AGUA

Dr. Shih L. Chang<sup>1</sup>

*La yodación es conveniente para desinfectar el agua de los sistemas de abastecimiento cuando la cloración controlada o tratamientos más completos no resultan prácticos. El funcionamiento y cuidado de un dispositivo de dosificación de yodo, para la desinfección adecuada del agua, son sencillos, aunque deben observarse precauciones con dosis superiores a 1 ó 2 miligramos por litro.*

La primera aplicación práctica de yodo elemental en la desinfección del agua debe atribuirse a Vergnoux (1), quien informó sobre la "esterilización" rápida del agua para las tropas en campaña. Hinman (2) se hizo eco de ese informe en los Estados Unidos de América, y basado en su procedimiento, Hitchens (3) recomendó el empleo de 5 mililitros de tintura de yodo al 7 por ciento para el agua contenida en una bolsa Lyster (equivalente a unos 140 litros) y manifestó que con este tratamiento, incluso el agua cruda del Río Potomac se convertiría en potable en 30 minutos. Dunham (4) adoptó el sistema como alternativa a la cloración en el tratamiento de agua en pequeñas cantidades para el Ejército, pero aumentó la dosis a 10 mililitros de tintura de yodo por bolsa Lyster, o de dos a tres gotas por cantimplora de agua. La eficacia del sistema fue estudiada más adelante por Pond y Willard (5), quienes dedujeron que 2 gotas de tintura de yodo, al 7%, por litro pueden conferir potabilidad en 15 minutos a la mayoría de las aguas de grifo contaminadas por medios artificiales.

Durante la Segunda Guerra Mundial, una serie de estudios efectuados en la Universidad de Harvard dieron por resultado la elaboración de la pastilla o tableta de globalina para desinfectar el agua de sumi-

nistros pequeños o individuales en el Ejército de los Estados Unidos de América (6-8). Cada pastilla contiene 20 miligramos de hidroperyoduro de tetraglicina, con 40% de I<sub>2</sub> y 20% de yoduro, combinados con 85 miligramos de ácido pirofosfórico. Mediante una de estas tabletas quedan diluidos 8 miligramos de I<sub>2</sub> en un litro de agua. Las ventajas de la globalina con respecto a la tintura de yodo son: 1) la presencia de yoduro en la mitad de la cantidad de I<sub>2</sub>; 2) la dosificación es determinada; 3) la pérdida de I<sub>2</sub> es insignificante mientras la pastilla se mantenga seca; 4) la sal ácida contrarresta altos niveles del pH; 5) el olor y el sabor disminuyen, y 6) las tabletas son convenientes para utilizarlas sobre el terreno. En condiciones normales, estas pastillas destruyen los agentes patógenos entéricos del hombre (bacterias, virus y protozoos) en 10 minutos (6-9). La dosis puede aumentarse a 2 tabletas por litro, o el período de contacto a 20 minutos, cuando el agua está muy fría, con mucho color o intensamente turbia.

Las tabletas de globalina fueron recomendadas como sustituto de las de halazona, debido a que una pastilla de globalina por cada cuarto de galón, o por cada litro, de agua destruye los quistes de *Endamoeba histolytica*, mientras que se necesitan seis tabletas de halazona para obtener el mismo resultado (6, 10). Además, el agua tratada con halazona adquiere un olor y sabor inaceptables, incluso después de quedar

<sup>1</sup>Centro de Ingeniería Sanitaria Robert A. Taft, Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos de América, Cincinnati, Ohio, E. U. A.

libre de cloro (6). La diferencia de eficacia sistémica es más notable si se considera la lenta solubilidad de las pastillas de halazona.

La yodación del agua como tratamiento de urgencia fue extendida gradualmente de los usos militares a los de carácter civil. Individuos, grupos y organizaciones, tales como la de los Jóvenes Exploradores de América, cuyos miembros recorrían zonas en que la calidad del agua era discutible, mostraron interés en este sistema de protección contra las enfermedades de origen hídrico (comunicaciones personales). Hasta fechas muy recientes, la yodación del agua había estado limitada a esta clase de situaciones.

Aunque el método de yodación del agua empezó a aplicarse sólo muy poco después que el de la cloración, el yodo ha sido utilizado principalmente para la desinfección del agua en casos de emergencia. Por otra parte, el cloro se ha empleado extensamente en la desinfección de sistemas de abastecimiento de agua municipales. Este hecho no se debe a la casualidad; obedece, entre otras razones, al elevado costo y propiedades farmacológicas del yodo, en contraste con el costo reducido del cloro y por ser éste fisiológicamente inerte. Indudablemente, cuando las pastillas de globalina se recomendaron para usos militares, eminentes farmacólogos y especialistas en tiroides se mostraron preocupados por los posibles efectos tóxicos y alérgicos del yodo, pero consideraron que la posibilidad de estas complicaciones era tan remota, que no se justificaba prohibir el uso de dichas tabletas, teniendo en cuenta las razones de tipo militar. Las pastillas no se utilizaron hasta después de haber transcurrido seis meses de estudios al respecto, efectuados en una base naval de las Islas Marshall en 1949-1950, y en los cuales no se comprobaron efectos adversos en un numeroso grupo de militares cuya ingestión media de yodo fue de 12 miligramos diarios durante 16 semanas y de 19,2 miligramos al día durante 10 semanas (17).

En los últimos años, la yodación se ha utilizado en el saneamiento de piscinas de natación y en la desinfección del agua de pequeños sistemas de abastecimiento. En todos los casos en que se efectuó la yodación del agua de piscinas de natación se notificaron resultados favorables (12-18). Wagner y Lanoix (19) incluyen la yodación en su lista de métodos de desinfección del agua en los sistemas de abastecimiento de zonas rurales y comunidades pequeñas. Recomiendan una dosis de dos gotas de tintura de yodo al 2%, por litro de agua, y doble dosis para las aguas muy contaminadas, sin especificar períodos de contacto.

El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos de América incluyó la yodación como procedimiento de urgencia para la desinfección, en el *Manual of Rural Water Supply Sanitation, 1945* (Manual de saneamiento de sistemas rurales de abastecimiento de agua, 1945) (20). En el método se especifica el uso de dos gotas de tintura de yodo al 7% (*U.S. Pharmacopoeia*), por litro, con un período de contacto de 30 minutos. En la revisión de 1962 del *Manual of Individual Water Supply Systems* (Manual de sistemas independientes de abastecimiento de agua), la yodación también se incluye en la lista, sin recomendación alguna, para el tratamiento de pequeños suministros de agua. La dosis para el tratamiento de urgencia se cambia a cinco gotas de tintura de yodo al 2% por litro de agua clara, o 10 gotas por litro de agua turbia, con un período de contacto de 30 minutos. Las tabletas de yodo también se mencionan como sustituto de la tintura.

En la Universidad de Florida se está llevando a cabo actualmente un proyecto de demostración de yodación del agua, sufragado con una subvención del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos. En este proyecto el Dr. A. P. Black y sus colegas (21) están estudiando la eficacia de desinfección y efectos fisiológicos del consumo prolongado del agua de pozo yodada, de que se abastecen dos instituciones con

una población residente de unas 1.000 personas. Los resultados fundamentales de un estudio de 12 meses respecto a 149 personas y algunos hallazgos suplementarios procedentes del estudio de la función tiroidea (22), más otras informaciones recibidas del Dr. A. P. Black, son los siguientes:

1. El sistema de yodación del agua en cantidades reducidas es sencillo y requiere escaso mantenimiento.

2. Mediante concentraciones de yodo, que fluctuaron entre 0,3 y 1,0 miligramos por litro, se obtuvieron resultados bacteriológicos satisfactorios.

3. Durante un período de 10 meses, el consumo de agua tratada con 1 miligramo de yodo por litro no produjo cambio alguno demostrable de la concentración de tiroxina en suero, si bien el promedio de yodo de la proteína (YP) aumentó ligeramente y la absorción media diaria de yodo radiactivo (YR) se redujo a menos del 10% de lo normal. Después de dos meses de consumir agua en la que el contenido total de yodo se elevó a 5 miligramos por litro, mediante la adición de 4 miligramos de yoduro por litro, el promedio de YP aumentó a 7,8 microgramos por 100 mililitros de sangre (el límite máximo normal es de 8 microgramos) y la absorción media de YR por día se redujo al 2% del valor normal.

4. El yoduro en la orina excedió de 0,5 miligramos por gramo de creatinina excretada, en cada una de las 50 personas que consumieron agua con un contenido de 0,5 miligramos de yodo total por litro.

5. No hubo prueba alguna de alergia al yodo ni se produjo el menor cambio en el tamaño de la glándula tiroidea, valores hematocritos, recuento leucocitario o recuentos diferenciales.

6. La tubería de acero inoxidable dio muy buen resultado como conductor de la solución dosificadora; y los materiales plásticos, como el que comercialmente se llama saran, el cloruro de polivinilo, el polipropileno y la fibra de vidrio, pueden utilizarse igualmente que el vidrio, la loza vitrificada u otro material cerámico en los recipientes destinados al yodo sólido.

En conclusión, los investigadores dedujeron que el consumo de agua yodada, en las mencionadas condiciones experimentales, durante un año, no produjo efecto nocivo

alguno para la salud, en general, o para la función tiroidea, en particular, entre los sujetos sometidos al experimento.

En los Estados Unidos, la sal yodada con un yoduro, en proporción de 1:10.000, ha venido consumiéndose desde 1937 (23). En la Tercera Conferencia sobre Problemas de Nutrición en la América Latina (24) también se recomendó el uso del yoduro en la sal en proporciones de 1:20.000 y 1:10.000. Como el promedio diario de ingestión de sal se ha calculado en 5 a 15 gramos (25, 26), la ingestión media diaria de yoduro procedente de la sal es de un miligramo, aproximadamente. La falta de datos en las publicaciones médicas acerca del yodismo o del Basedow yódico (Jod-Basedow o hipertiroidismo en el bocio) que puedan relacionarse con el consumo general de sal yodada, así como los resultados negativos del estudio realizado en las Islas Marshall (11), indican lo remoto de la posibilidad de complicaciones a un nivel de ingestión de 1 a 2 miligramos de yodo por litro de agua y refrendan las conclusiones formuladas en el proyecto de la Universidad de Florida.

#### Eficacia desinfectante de la yodación

En un informe anterior (9) se indicaron las características químicas de las soluciones débiles de yodo elemental con yoduro y la relativa eficacia de las diversas clases de yodo titulable ( $I_2$ ,  $HOI$ ,  $I_3^-$  y  $IO_3^-$ ) para destruir los agentes patógenos entéricos más resistentes en el hombre, es decir, los quistes de *E. histolytica* y los virus entéricos. Si bien el propósito de dicho informe se refería tanto a las actividades de investigación como a los usos prácticos, este último aspecto queda un tanto subordinado al necesario tratamiento cuantitativo de las reacciones químicas.

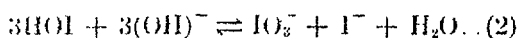
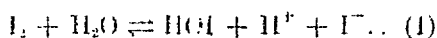
La yodación del agua de sistemas pequeños de abastecimiento puede llevarse a cabo en condiciones mejor controladas que las de los suministros individuales. Como se describirá más adelante, el uso de un lecho de cristales de  $I_2$  para preparar una solución saturada

con destino al tratamiento del agua, prácticamente suprime la formación de peryoduro y reduce el número de clases de yodo titulable que habrán de tenerse en cuenta en la evaluación de la eficacia del sistema. Sobre esta base se analiza a continuación la eficacia desinfectante de la yodación:

1. *Ion de peryoduro.* Wyss y Stranskov (27) indicaron la insignificante actividad mortífera del ion de peryoduro ( $I_3^-$ ) con respecto a las esporas de *Bacillus meliens*. La eficacia cistocida del  $I_3^-$  es aproximadamente el 10% de la del  $I_2$  (9). Evidentemente, el  $I_3^-$  no es viricida, como ha sido demostrado con diversos enterovirus (28, 29). No obstante, la formación de peryoduro en el agua puede ignorarse por completo, si el proceso de yodación se lleva a cabo sin añadir yoduro. La cantidad de yoduro derivado de la hidrólisis del  $I_2$  al nivel de 1 a 2 miligramos por litro, y con valores de pH de 6,5 a 8, será tan reducida que el ion  $I_3^-$  formado en el agua no representará mucho más del 1% del yodo titulable total (9).

2. *Ion de yodato.* El yodato no tiene actividad manifiesta alguna cistocida o viricida. A un pH de 7 y a 25°C, las soluciones de yodato, lo bastante concentradas para liberar de 10.000 a 14.500 miligramos de  $I_2$  por litro en presencia de ácido y yoduro, no indicaron efecto nocivo alguno en los quistes de amebas (9) o en los enterovirus (28, 29).

La formación de yodato en las soluciones de yodo elemental sin adición de yoduro se produce según las reacciones siguientes:



Estas fórmulas indican que los valores de pH alcalinos rigen las reacciones hacia la derecha; y los valores de pH ácidos, hacia la izquierda. Como la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas se estabilizan mediante el sistema carbonato-bicarbonato, la yodación de las mismas no deberá plantear problemas de formación de yodato hasta que el pH exceda de 8 y el período de

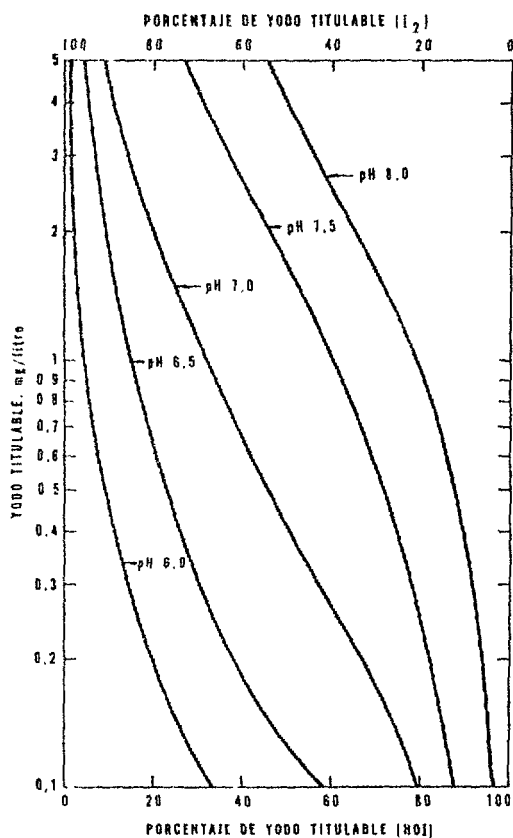
contacto pase de 30 minutos. Como en la yodación la acción desinfectante se produce en los primeros 15 a 20 minutos, las pequeñas pérdidas de yodo titulable, en la conversión a yodato, no deben representar un problema en el tratamiento de aguas a niveles de pH inferiores a 8,4.

3. *Yodo elemental y ácido hipoyodoso.* Estos son los dos agentes desinfectantes más poderosos entre las clases de yodo titulable. Las cantidades relativas de yodo titulable, como  $I_2$  y HOI, en una solución acuosa de yodo elemental sin adición de yoduro, dependen principalmente de la concentración y del pH de la solución y, en mucho menor grado, de la temperatura (9). Si el proceso se efectúa a un pH inferior a 8,4, la pérdida de HOI en la formación de yodato puede despreciarse.

Un cuadro relativo a la hidrólisis del  $I_2$ , preparado para dosis grandes de yodo, se presentó en otro informe (9) con el propósito de que sirviera de orientación en el tratamiento individual de casos de emergencia, en los que pudiera utilizarse cualquier clase de agua superficial y, por consiguiente, la dosis de yodo tenía que ser lo bastante elevada para hacer frente a un grado extenso de contaminación y de demanda de dicho halógeno. En los pequeños abastecimientos de las zonas rurales, el agua que ha de ser sometida a tratamiento puede ser de origen subterráneo, o proceder de fuentes superficiales con más probabilidades de contaminación por el terreno que por las aguas cloacales. En estas condiciones, la dosis de yodo habrá de ser inferior a 5 miligramos por litro.

Al objeto de facilitar los datos necesarios para la yodación del agua en cantidades reducidas, en la figura 1 se ofrecen los resultados de la computación de los datos relativos a la hidrólisis del  $I_2$ , para concentraciones de yodo titulable, en una escala de 0,1 a 5 miligramos por litro, a 18°C y con un pH de 6,0 a 8,0. En la figura puede observarse que si el agua yodada, con un pH de 6,8 a 7,8, puede retener alrededor de

FIGURA 1—Porcentaje de yodo titulable,  $I_2$  y HOI, en agua a 18°C, sin adición de yodo.



1 miligramo de yodo titulable por litro, una vez satisfecha la demanda inicial, del 30 al 70% del mismo deberá encontrarse en forma de  $I_2$  y el resto como HOI.

La relativa eficiencia de desinfección del  $I_2$  y del HOI varía notablemente con las distintas clases de microorganismos. La actividad del  $I_2$  contra las esporas de *B. meliens* es de 3 a 6 veces mayor que la del HOI (27). En la destrucción de quistes de *E. histolytica*, el  $I_2$  es de 2 a 3 veces más activo que el HOI (9). Por otra parte, la eficacia viricida del HOI es, por lo menos, 40 veces la del  $I_2$  (27). Asimismo, se ha sostenido que el HOI es de 3 a 4 veces más activo que el  $I_2$  en la destrucción de *Escherichia coli* (30).

Como los organismos que han de ser

destruidos comprenden desde las esporas bacterianas hasta los quistes de amebas, las bacterias vegetativas y los virus, es mayor la capacidad mortífera del HOI en relación a la del  $I_2$ . La importancia de este fenómeno es tanto de carácter teórico como práctico.

En teoría, tales diferencias significan que cuando las medidas de desinfección se aplican contra los microbios protegidos por resistentes paredes celulares o de esporas, la superioridad del  $I_2$  con respecto al HOI se debe sin duda al mayor poder de penetración del  $I_2$  (31). En la destrucción de microbios cuya membrana celular es fisiológicamente activa, como ocurre en el caso de las bacterias vegetativas, el poder oxidante del compuesto HOI adquiere más importancia. Esto queda confirmado por el hecho de que el potencial normal ( $E_0$  a 25°C) de redox (reducción-oxidación) del HOI es de 990 milivoltios (mv) y el del  $I_2$ , de 536 mv (32). La pared celular queda descartada como factor en la destrucción de virus y la superioridad del HOI respecto del  $I_2$  es aplastante. Esta explicación resulta aún más convincente cuando se considera la eficacia viricida del HOCl. El HOCl tiene un potencial normal ( $E_0$ ) de 1.490 mv (32) y su eficacia viricida es 5 veces mayor que la del HOI (33). Estas diferencias confirman asimismo el convencimiento de que la destrucción de virus se produce como resultado de la reacción del agente con la cápsula proteínica y no con el núcleo de ácido nucleico; puesto que de resultar afectado este último la cápsula proteínica actuaría como capa protectora y el proceso destructivo no sería tan diferente del de las esporas y quistes. Es interesante que Braummer (32) notificara el fracaso del  $I_2$  con KI en cuanto a inactivar el ácido ribonucleico del virus del mosaico del tabaco, incluso a concentraciones elevadas.

En la práctica, estas diferencias en la capacidad mortífera del  $I_2$  y del HOI sirven de orientación para establecer parámetros fundamentales a utilizar en la yodación del

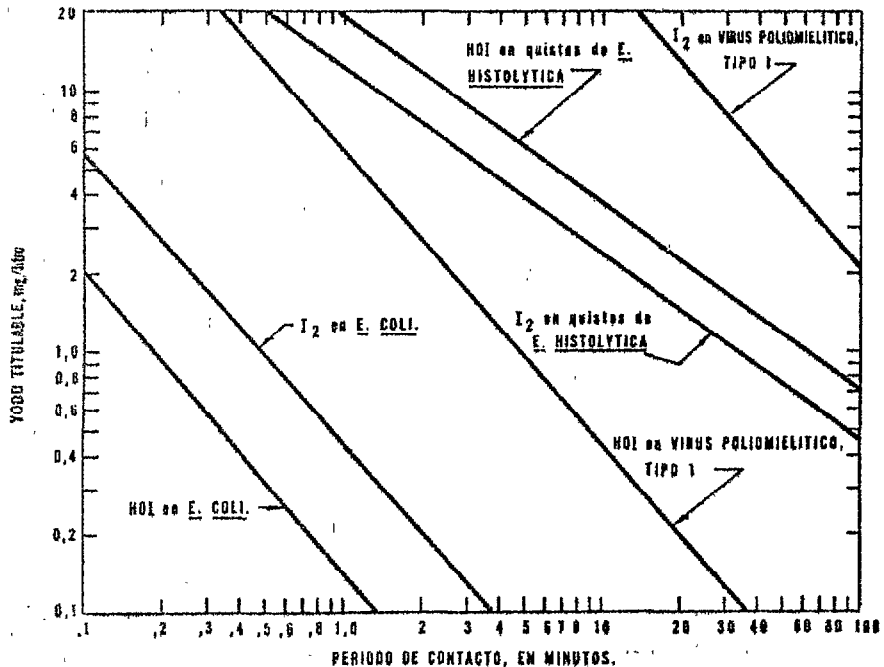
agua. Al objeto de convertir estas diferencias en datos útiles para la aplicación práctica, en la figura 2 se ofrecen gráficamente los resultados de la computación de datos existentes (9, 28-30) acerca de la relación entre la concentración y el período de contacto correspondiente a la destrucción del 99,9% de virus poliomiélfico, tipo 1 (cepa Lotshaw), quistes de *E. histolytica* y *E. coli* por el  $I_2$  y el HOI a 18°C.

Los parámetros utilizados en la figura 2 merecen una explicación. En lo relativo a la destrucción de virus o quistes, se aplicó la tasa del 99,9% para ofrecer un margen de seguridad bastante razonable. A esta tasa, la matanza de bacterias entéricas no esporulantes debe ser de 10 a 100 veces mayor. Se eligió la temperatura de 18°C debido a su proximidad a la temperatura de muchas aguas subterráneas y superficiales. La cepa Lotshaw del virus poliomiélfico, tipo 1, fue seleccionada por tratarse de uno de los virus más resistentes del grupo entérico estudiado hasta ahora (28, 29, 33). La des-

trucción de esporas no se incluyó porque las bacterias esporulantes no intervienen, de ordinario, en las infecciones hídricas comunes.

En la misma figura 2, las curvas correspondientes a la destrucción de *E. coli* indican claramente que 0,1 a 0,2 miligramos de yodo residual ( $I_2$  o HOI, o ambos a la vez) por litro pueden producir resultados bactericidas satisfactorios en menos de 4 minutos. Los datos facilitados por Chambers *et al.* (35) acerca de la destrucción de un determinado número de especies de *Salmonella* y *Shigella* mediante el yodo confirman esta aseveración. La combinación de los factores de concentración y período de contacto correspondiente a la destrucción de virus por el  $I_2$  queda fuera de los límites prácticos, pero la relativa al HOI queda muy dentro del campo utilizable en las aplicaciones prácticas. Por ejemplo, el yodo residual como HOI, en concentraciones de 0,8, 0,6 y 0,4 miligramos por litro, debe causar una destrucción del 99,9% de los microorganismos en 6, 8 y 10 minutos, respectivamente.

FIGURA 2—Relación entre la concentración de yodo titulable y el período de contacto, en la destrucción del 99,9% de quistes, virus y bacterias mediante el  $I_2$  y el HOI a 18°C.



La curva cistocida del  $I_2$  se mantiene próxima al límite superior de los niveles prácticos: de 1.0 miligramo por litro en 30 minutos a 2 miligramos por litro en 13 minutos. La curva cistocida del HOI está ubicada de modo que las combinaciones de los factores de concentración y período de contacto no se encuentran muy lejos de los límites prácticos y representan aproximadamente el décuplo de los relativos a la destrucción de virus correspondiente a concentraciones de 1 a 2 miligramos por litro.

En las zonas en que la esquistosomiasis, la anquilostomiasis, o ambas a la vez, son endémicas, habrá de tomarse en consideración la posibilidad de que el agua contenga cercarias de esquistosoma o larvas infecciosas de anquilostoma. Es muy poco lo que se sabe acerca de la relativa eficacia cercaricida del  $I_2$  y del HOI. En la Conferencia sobre la Esterilización del Agua, celebrada por el Consejo Nacional de Investigaciones de los E.U.A. (Washington, D. C., julio de 1944) (36), se presentaron unos pocos datos referentes a la destrucción de cercarias de esquistosoma mediante tabletas de yodo. De estos datos se desprende que el yodo residual en concentraciones de 2 miligramos por litro puede destruir las cercarias en 20 minutos.

La información sobre la eficacia del yodo en la destrucción de larvas infecciosas de anquilostoma es igualmente escasa. Thitasut (37) notificó recientemente que una concentración de 35 a 40 miligramos de  $I_2$  por litro destruyó las larvas infecciosas de *Necator* y *Ancylostoma* en un período de 30 a 40 minutos y a una temperatura de 15 a 20 grados centígrados. Estas concentraciones larvicidas de  $I_2$  quedan, indudablemente, fuera del campo de posibilidades prácticas en la desinfección del agua.

#### Fin primordial del método de yodación

Para que el método de yodación resulte satisfactorio es importante saber si su fin primordial consiste en la destrucción de virus, de parásitos animales o de ambos.

Debido a que las bacterias enteropatógenas se destruyen más fácilmente, estas no constituyen motivo de preocupación. Un estudio de los agentes patógenos de mayor resistencia, en su relación con las enfermedades hídricas, puede ofrecer alguna base para la adopción de medidas.

Los pocos brotes de amibiasis de origen hídrico que han sido notificados en los Estados Unidos se han relacionado únicamente con la contaminación de la red de distribución debida a defectos de fontanería (38). No se descarta la posibilidad de infecciones esporádicas a consecuencia del consumo de aguas contaminadas. Sin embargo, la escasa densidad de quistes en las aguas negras, unida a la sedimentación de aquéllos durante el tratamiento de efluentes cloacales y en el agua en general, hace improbable la existencia de quistes en las aguas contaminadas. La razón de quiste a bacteria coliforme en los Estados Unidos se ha calculado que es de 1:100.000, como máximo (38). Esta razón tal vez explique el hecho de que cuando en Chanute, Kansas, se consumió como agua potable durante tres meses, para aliviar una grave sequía, el agua depurada mediante el tratamiento de efluentes residuales, tan sólo una de cada diez muestras de un galón de agua residual examinadas produjo un cultivo positivo de *B. histolytica*, y los resultados de exámenes similares del efluente, agua cruda y agua depurada fueron todos ellos negativos (39).

En las zonas endémicas donde el saneamiento es inadecuado, la densidad de quistes en las aguas superficiales contaminadas puede ser considerablemente mayor. Si estas aguas se utilizan como fuente de abastecimiento, la destrucción de quistes constituirá uno de los fines del método de desinfección.

El *Schistosoma mansoni* existe en determinadas partes del Brasil, Surinam, Venezuela y muchas islas del Caribe. En estas regiones, todas las aguas superficiales de las zonas endémicas son, probablemente, fuentes virtuales de infección. Cuando tales

aguas se utilizan como fuente de abastecimiento, la destrucción de las cerasías deberá incluirse también como uno de los fines del método de desinfección, a menos que el agua pueda conservarse estancada por un período mínimo de dos días con anterioridad al tratamiento.

Las infecciones por anquilostoma, como otras nematodiasis entéricas, son principalmente enfermedades debidas a la contaminación del suelo. Strong (40) y Manson-Bahr (41) afirman que el agua de los sistemas de abastecimiento debe ser cuidadosamente protegida contra toda posible contaminación fecal y el agua para beber deberá hervirse, a menos que se encuentre a salvo de toda sospecha. Es comprensible que el agua procedente de los canales de regadío, pequeñas corrientes o estanques de los sectores agrícolas, en que la anquilostomiasis es endémica, sirva de medio importante de transmisión, puesto que las aguas superficiales de drenaje o infiltradas desde tierras contaminadas pueden introducir constantemente larvas intestinales en el agua destinada al consumo. La desinfección de esta agua mediante la yodación, sin tratamiento previo para eliminar el gran contenido de materia orgánica, es difícil y la destrucción de las larvas de anquilostoma no resulta práctica por las concentraciones prohibitivas de yodo requeridas (37).

#### Aplicación del método de yodación

##### Limitaciones

La yodación puede aplicarse cuando la cloración, o tratamientos más completos, no son factibles. La desinfección satisfactoria del agua mediante la yodación, dentro de las dosis razonables, requiere que el agua que ha de tratarse no esté intensamente contaminada, de modo que el contenido de materia orgánica no sea excesivo y los agentes patógenos, si existieren, estén cuantitativamente al alcance de la desinfección. Las aguas altamente contaminadas, como las que se encuentran en los casos urgentes de

desinfección que requieren yodo en dosis de 8 a 16 miligramos por litro, no son aptas para el consumo doméstico durante largos períodos de tiempo.

Así, pues, las fuentes de abastecimiento quedan limitadas a las aguas subterráneas y a las superficiales procedentes de lagos y ríos no afectados de excesiva contaminación ni de intensa turbiedad o coloración. Si la demanda de yodo por parte de las aguas crudas es superior a 2 miligramos por litro durante 15 a 20 minutos, la dosis de yodo resultará demasiado elevada para aplicaciones a largo plazo.

##### Ventajas e inconvenientes de la yodación y la cloración

El ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ , formado por hidrólisis de  $\text{Cl}_2$ ) ha sido incluido, con el mucho menos activo ion de hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ), en la categoría de "cloro libre". En concentraciones a base de miligramos por litro, el  $\text{HOCl}$  es 5 veces más viricida y 1 vez más cisticida que el  $\text{HOI}$ , y 200 veces más viricida y 2 veces más cisticida que el  $\text{I}_2$  (9, 28, 29, 33). Esta superior potencia de desinfección, junto con la inactividad farmacológica y bajo costo, hacen que en general las preparaciones de cloro gaseoso o de hipoclorito sean las preferidas para la desinfección del agua.

La yodación puede aplicarse al agua que no resulte especialmente apta para la cloración debido a la relativa inactividad del  $\text{I}_2$  y del  $\text{HOI}$  con respecto al amoníaco y a la materia orgánica, en contraste con la gran reactividad del cloro y sus derivados con estas sustancias. El examen del agua, con el fin de determinar la existencia de dichas sustancias, que suponen un impedimento, no es fundamental una vez que ha sido establecida la demanda de yodo. La dosificación es relativamente sencilla, y es posible añadir al agua una dosis constante sin necesidad de complicados dispositivos.

En las zonas rurales o en aquellas en vías de desarrollo en que, como fuente de abastecimiento, debe consumirse agua natu-



ral de calidad discutible y donde no existan medios adecuados de tratamiento y supervisión convencionales, la yodación puede aplicarse a los fines de la desinfección. Aunque una prueba química del yodo residual no sea factible, la aparición de un ligero color pajizo o un leve cambio de color del agua pueden servir de prueba de la existencia de una concentración de 1 a 2 miligramos de yodo por litro. Esta simplicidad de la yodación hace que el método resulte conveniente para tratar el agua de los sistemas de abastecimiento de las zonas rurales, o en los países donde las buenas prácticas de saneamiento del agua están fuera del alcance de las comunidades locales. De las pruebas ofrecidas al principio del presente informe, se desprende que la yodación, a dosis de 1 a 2 miligramos por litro, con aumentos de 3 a 4 miligramos en determinadas ocasiones, puede aplicarse al agua de pequeños suministros, por largos períodos de tiempo, sin que se produzcan efectos fisiológicos adversos entre los consumidores.

**Aplicación**

La yodación del agua es de aplicación sencilla; dejando que el agua se filtre a través de una columna de cristales de  $I_2$ , de altura conveniente, es fácil obtener una solución saturada de  $I_2$ . A falta de yoduro, la concentración de  $I_2$  en la solución procedente del saturador depende, por entero, de la temperatura del agua. En el cuadro 1

CUADRO 1—Concentraciones de  $I_2$  en soluciones acuosas saturadas a temperaturas de 10 a 30 grados centígrados.

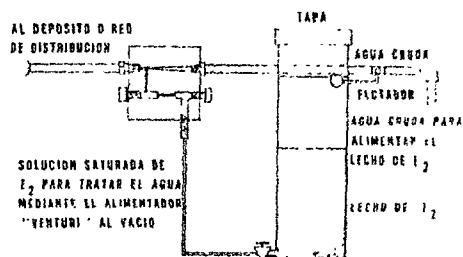
Grados C	$I_2$ (mg./litro)
10,0	210
12,5	225
15,0	245
17,5	265
20,0	290
22,5	315
25,0	340
27,5	370
30,0	400

se indican las concentraciones de las soluciones saturadas a las temperaturas prevalentes en las aguas subterráneas y superficiales.

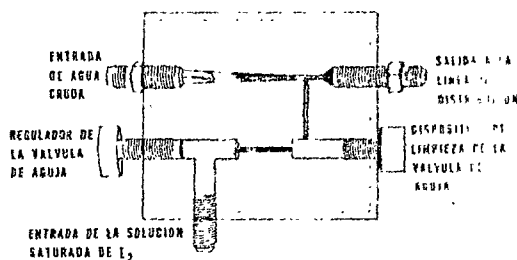
En zonas de clima templado, la concentración de la solución de  $I_2$  procedente del saturador debe ser, aproximadamente, de 250 miligramos por litro, y en los trópicos y subtropicos, de 400 miligramos por litro. Los cambios nocturnos de temperatura pueden despreciarse ya que, de ordinario, es muy escaso el consumo de agua durante la noche. Con una columna de altura adecuada, la variación del caudal del agua a través de la columna no debe afectar el estado de saturación del  $I_2$  en el efluente.

En la figura 3 aparece un esquema de un dispositivo de dosificación de yodo. El lecho de  $I_2$  puede prepararse con yodo en bruto y ha de tener una profundidad suficiente—tal vez no menor de 10 pulgadas—para garantizar una solución saturada a un régimen máximo de filtración. El recipiente puede ser un cilindro de vidrio o cerámica vitrificada, cuyo diámetro dependerá del volu-

FIGURA 3—Dispositivo de dosificación de yodo.



A ESQUEMA DEL DISPOSITIVO DE DOSIFICACION

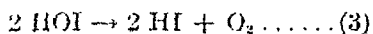


B ALIMENTADOR "VENTURI" AL VACIO

men del suministro. La dosificación puede realizarse mediante un alimentador "Venturi" al vacío (existente en el mercado) en el que la dosis se regula según el caudal, o por medio de una bomba cuyo caudal esté sujeto al del agua que va a yodarse, si es que este dispositivo resulta práctico. De utilizarse el alimentador "Venturi" al vacío, el diámetro de la tubería de abastecimiento deberá ser suficiente para asegurar un caudal no inferior a  $\frac{1}{2}$  galón por minuto. Una tubería de acero inoxidable puede utilizarse para conducir la solución de yodo a la corriente de agua cruda.

El saturador se rellenará periódicamente de yodo sólido al objeto de mantener más o menos constante la profundidad del lecho. La frecuencia del relleno dependerá del volumen del suministro y de la dosis de yodo. Por ejemplo, si un volumen de 100.000 litros diarios se dosifica a razón de 2,2 miligramos de yodo por litro, el contenido de yodo en el lecho disminuirá a razón de  $\frac{1}{2}$  libra por día. Convendrá, pues, añadir una libra cada dos días en el caso de un lecho de 10 libras de  $I_2$ .

Cuanto más prolongado sea el período de contacto, mayor será el margen de seguridad. Para la mayoría de los casos que se presentan en la práctica, el período de contacto no debe ser inferior a 20 minutos. Si el sistema de distribución no responde a este requisito, es preciso instalar un depósito del tamaño conveniente al respecto. Se ha demostrado en el laboratorio que la prolongada exposición a la luz solar facilita la descomposición del HOI según la reacción siguiente:



Sin embargo, la descomposición del HOI es mucho más lenta que la correspondiente al HOCl (datos inéditos).

La información relativa a la demanda de yodo para dosis de 1, 2 y 3 miligramos por litro, durante 15 a 20 minutos, es necesaria para mantener la cantidad adecuada de yodo residual. En las condiciones más elementales, la concentración de la solución dosificadora puede calcularse a base de la temperatura del agua en el saturador de  $I_2$  y de las cifras que

figuran en el cuadro 1, y el yodo residual puede determinarse aproximadamente por el color del agua objeto de dosificación. Como se ha expuesto anteriormente, un color amarillo pálido indica la existencia de 1 a 2 miligramos de yodo tituable por litro.

Si hay posibilidad de efectuar análisis químicos, la concentración de la solución dosificadora puede determinarse mediante la titulación yodométrica con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , y el yodo residual, por medio de la titulación amperimétrica con óxido arsenofenólico o un método colorimétrico con leucobases de tinturas determinadas, como la p-amino dimetilamilo (6), 1,4',4"-metilidimetris N,N-dimetilamilo y colorantes similares (21). Un estudio de pruebas basado en el empleo de esta clase de tintes existe en el mercado. Las mediciones exactas mediante el método colorimétrico sin dilución se limitan a las concentraciones de yodo no superiores a 1,5 miligramos por litro. Los aparatos registradores de yodo residual también existen en el mercado y pueden utilizarse para comprobar el grado de yodación del agua tratada.

Como el pH del agua afecta la formación de HOI y su descomposición en yodato, la determinación del pH antes de la yodación es fundamental. Para medir el pH puede utilizarse un medidor de pH, soluciones de rojo neutro y rojo cresol (o azul timol) o tiras de papel indicador. Si bien la mayoría de las aguas tienen, en su estado natural, un nivel de pH que varía de 5,5 a 9,0, la mayor parte de las aguas superficiales, es decir, las de lagos y ríos, poseen un pH de 6,5 a 8,0; el pH de las aguas subterráneas en zonas con formaciones calizas puede llegar hasta 9,0. Las aguas cuyo pH excede de 8,2 requieren corrección previa para garantizar una yodación satisfactoria. Las sales ácidas, como el  $\text{NaHSO}_4$ , resultan bastante económicas y pueden emplearse para reducir el pH a un valor cercano a 8,0, con muy escaso costo suplementario.

Si el método de yodación se aplica con el fin primordial de destruir los virus y bac-

terias entéricas, y si el agua que va a ser tratada tiene un pH superior a 6,8, una concentración de yodo residual de 0,6 miligramos o más por litro, durante 20 minutos de contacto, facilitará como mínimo los 0,2 miligramos de yodo titulable, en forma de HOI, por litro, necesarios para la desinfección. No obstante, cuando el pH del agua sea inferior a 6,8, el mínimo de yodo residual deberá aumentarse a 0,8 miligramos por litro, con 20 minutos de contacto, a fin de proporcionar la cantidad deseada de HOI.

En las zonas en que la amibiasis y esquistosomiasis son endémicas, la yodación debe aplicarse con el propósito de eliminar los quistes de *E. histolytica* y las cercarias de esquistosoma; el yodo residual mínimo, a los 20 minutos de contacto, no debe ser inferior a 2 miligramos por litro, con un pH menor de 7,5. más 0,5 miligramos adicionales por litro si el pH es de 7,5 a 8,2. En estas zonas, las aguas superficiales pueden requerir una demanda de yodo más elevada y la dosis inicial puede ascender hasta el nivel de 3 ó 4 miligramos por litro, al objeto de disponer del yodo residual deseado.

#### Precauciones sobre la yodación

Si bien el estudio efectuado en las Islas Marshall produjo resultados negativos (11) y el proyecto de la Universidad de Florida ha revelado cambios insignificantes en la función tiroidea, con ausencia de reacciones alérgicas, la población que consuma agua yodada, con dosis de yodo que excedan de 1 a 2 miligramos por litro, habrá de ser observada por la posibilidad, bastante remota por cierto, de cambios en la función tiroidea, especialmente en zonas donde exista el bocio endémico o en aquellas en que el consumo de pescado y mariscos es elevado. En general, se considera que las reacciones alérgicas son muy improbables, incluso a concentraciones de yodo de 4 a 5 miligramos por litro.

Cuando la yodación se aplica al tratamiento del agua de un sistema de abastecimiento, el consumo de sal común yodada

deberá interrumpirse para reducir el total de yodo ingerido.

#### Resumen

Se exponen los antecedentes de la yodación del agua, desde su uso militar y su empleo en casos de emergencia en tiempo de paz, así como en el saneamiento de piscinas de natación, hasta su aplicación a pequeños sistemas de abastecimiento de agua. La yodación nunca ha sido considerada en los casos en que la cloración resulta práctica, por ejemplo, en los sistemas municipales de abastecimiento de agua. Esto puede tener su explicación en la inferior eficacia desinfectante del yodo (a base de concentraciones de miligramos por litro), su elevado costo y sus propiedades farmacológicas, en contraste con la mayor eficacia desinfectante, y bajo costo del cloro, y por ser éste fisiológicamente inerte.

No obstante, la yodación tiene sus ventajas en lo que se refiere a la desinfección del agua de los sistemas de abastecimiento rurales o de pequeña magnitud, en los que no resulta práctico el método más complejo de la cloración. Estas ventajas de la yodación se derivan de la inactividad del yodo y del HIOI con respecto al amoníaco, su relativamente baja reactividad a la materia orgánica y la facilidad con que puede instalarse un dispositivo de dosificación de yodo, incluso en condiciones elementales. La larga experiencia con el uso de la sal yodada y los resultados favorables de estudios sobre el terreno indican la relativa inocuidad de la yodación del agua en concentraciones de 1 a 2 miligramos por litro, así como lo remoto de la posibilidad de que el yodo cause efectos adversos en concentraciones de 3 a 4 miligramos por litro.

La eficacia viricida del HOI y la capacidad cisticida y cercaricida del  $I_2$  hacen que la eliminación de estos agentes patógenos sea posible mediante la yodación, con dosis prácticas de las citadas sustancias, siempre y cuando el agua que ha de ser tratada no se encuentre intensamente contaminada.

La destrucción de larvas infecciosas de anquilostoma requiere una concentración de  $I_2$  demasiado alta para ser práctica.

Se acompaña el esquema de un dispositivo dosificador de yodo, que puede utilizarse en las zonas rurales en casi toda clase de condiciones, y se describe la forma de mantener el yodo sólido a una profundidad constante en el lecho de saturación. Se sugieren métodos para determinar la concentración de la solución dosificadora y el yodo residual y de demanda. Se subraya la importancia de per-

mitir un período de contacto mínimo de 20 minutos y de mantener el nivel del pH de las aguas subterráneas de gran alcalinidad. □

#### Agradecimientos

El autor agradece al Dr. A. P. Black, Profesor Investigador de Química de la Universidad de Florida, y a sus colegas, la valiosa información facilitada para el presente informe. Asimismo, expresa su gratitud a los doctores N. A. Clarke y P. W. Kabler, del Centro de Ingeniería Sanitaria "Robert A. Taft", por la lectura del manuscrito y la formulación de útiles sugerencias.

#### REFERENCIAS

- (1) Vergnoux: "Examen rapide et sterilization des eaux pour les troupes en campagne", *L'Union Pharmaceutique*, 194-201, 1915.
- (2) Hinman, J. J.: *Studies in Medicine*. Iowa City: University of Iowa, agosto, 1916 (Monograph).
- (3) Hitchcock, A. P.: "The Emergency Treatment of Water for Drinking Purposes," *Military Surgeon*, 51:657, 1922.
- (4) Lutham, G. C.: "Military Preventive Medicine," Carlisle Barracks, Pa.: Medical Field Service School, 1930, págs. 292-293.
- (5) Pond, M. A., y Willard, W. R.: "Emergency Iodine Sterilization for Small Samples of Drinking Water," *Jour Amer Water Works Ass*, 29:1995-1998, 1937.
- (6) Fao, G. M.; Chang, S. L., Morris, J. C.: "Disinfection of Water and Related Substances: A Final Report to Committee on Medical Research, December, 1915." Harvard University, Cambridge, Mass.
- (7) Chang, S. L., y Morris, J. C.: "Elemental Iodine as a Disinfectant for Drinking Water," *Indus & Eng Chem*, 45:1009-1012, 1953.
- (8) Morris, J. C., et al.: "Disinfection of Drinking Water Under Field Conditions," *Indus & Eng Chem*, 45:1312-1315, 1953.
- (9) Chang, S. L.: "The Use of Active Iodine as a Water Disinfectant," *J Amer Pharm Ass Scientific Edition*, 47:417-423, 1958.
- (10) Chang, S. L.: "Destruction of Microorganisms," *Jour Amer Water Works Ass*, 36: 1192-1207, 1944.
- (11) Morgan, D. P., y Karpen, R. J.: "Test of Chronic Toxicity of Iodine as Related to the Purification of Water," *U S Armed Forces Med Jour*, 1:725-728, 1953.
- (12) Black, A. P.; Lackey, J. B., y Lackey, E. W.: "Effectiveness of Iodine for the Disinfection of Swimming Pool Water," *Amer J Public Health*, 49:1059-1068, 1959.
- (13) Black, A. P.; Boudet, R. A., y Giddens, R. D.: "Iodine for the Disinfection of Swimming Pool Water." Trabajo presentado a la Sección de Laboratorio de la 87ª Reunión Anual de la Asociación Americana de Salud Pública, Atlantic City, Nueva Jersey, octubre, 1959.
- (14) Marshall, Jr., J. D.; McLaughlin, J. D., y Carscadden, E. W.: "Iodine Disinfection of a Cooperative Pool," *The Sanitarian*, 22:199-203, 1960.
- (15) Cottrhan, W. W., y Hatlen, J. B.: "A Study of an Outdoor Swimming Pool Using Iodine for Water Disinfection," *Stud Med*, 10: 493-502, 1962.
- (16) Marshall, J. D.; Faber, J. E., y Campbell, W. R.: "Advantages and Limitations of Iodine Disinfection of an Indoor Swimming Pool--1. Bacteriological analysis," *Amer J Public Health*, 52:1179-1185, 1962.
- (17) Byrd, O. E., et al.: "Safety of Iodine as Disinfectant in Swimming Pool," *Public Health Rep*, 78:393-397, 1963.
- (18) Favero, M. S., y Drake, C. H.: "Comparative Study of Microbial Flora of Iodinated and Chlorinated Pools," *Public Health Rep*, 79:251-257, 1964.
- (19) Wagner, E. G., y Lanoix J. N.: "Abastecimiento de agua en las zonas rurales y en las pequeñas comunidades. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 1961. (Serie de Monografías, No. 42.
- (20) U. S. Public Health Service: "Rural Water Supply Sanitation," Suppl. No. 185, *Public Health Rep*, 1945.
- (21) Black, A. P.: "Second Progress Report of a

- Demonstration Project on Iodination of Water," University of Florida, noviembre, 1964.
- (22) Freund, G. *et al.*: "Effect of Iodinated Water on Thyroid Function," *Clin Res Proc*, 13: 242, 1965.
- (23) Kimball, O. P.: "Prevention of Goiter in Michigan and Ohio," *J Amer Med Ass*, 108:860-864, 1937.
- (24) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Informe de la 3ª Conferencia sobre Problemas de Nutrición en la América Latina, Caracas, Venezuela, 19 a 28 de octubre de 1953.
- (25) Dahl, L. K.: "Salt Intake and Salt Need," *New Eng J Med*, 258:1152-1156, 1205-1208, 1958.
- (26) Strauss, M. B.: *Body Water in Man*. Boston: Little, Brown, 1957.
- (27) Wyss, O., y Stranskov, F. B.: "The Germicidal Action of Iodine," *Arch Biochem*, 6:261-268, 1945.
- (28) Berg, G.; Chang, S. L., y Kabler, P. W.: "Dynamics in the Destruction of Enteroviruses by Elemental Iodine." Trabajo presentado a la Reunión de la Sociedad de Bacteriólogos Americanos, Filadelfia, Pensilvania, 4 de mayo de 1960.
- (29) Berg, G.; Chang, S. L., y Harris, E. K.: "Devitalization of Microorganisms by Iodine. I Dynamics of the Devitalization of Enteroviruses by Elemental Iodine," *Virology*, 22:169-181, 1964.
- (30) Carrell, B.; Iannarone, M., y Stonehill, E. H.: "Some Chemical and Antimicrobial Properties of Iodine Solutions." Informe presentado a la División de Química Relativa al Abastecimiento de Agua, Alcantarillado y Saneamiento, Sociedad Americana de Química, Miami, Florida, 7 a 12 de abril de 1957.
- (31) Chang, S. L.; Baxter, M., y Eisner, L.: "Studies on Destruction of Cysts of *E. histolytica*. II. Dynamics of Destruction of Cysts of *E. histolytica* in Water by Triiodide Ion," *Amer J Hyg*, 61:133-141, 1955.
- (32) Hodgman, C. D., *et al.*: "Oxidation Reduction Potentials of Electrochemical Reactions," págs. 1743-1744, en: *Handbook of Chemistry and Physics*, 41ª ed. Cleveland, Ohio: Chemical Rubber Co., 1963.
- (33) Clarke, N. A., *et al.*: "Human Enteric Viruses in Water: Source, Survival and Removability," págs. 523-512, en: *International Conference on Water Pollution Research* (London, September, 1962). London: Pergamon Press, 1961.
- (34) Brammer, K. W.: "Chemical Modification of Viral Ribonucleic Acid II Bromination and Iodination," *Biochim Biophys Acta*, 72:217-229, 1963.
- (35) Chambers, C. W., *et al.*: "Iodine as a Bactericide," *Soap and Sanitary Chemicals*, 28:149-151, 1952.
- (36) National Research Council: *Conference on Water Sterilization*, 12 de julio de 1944, Washington, D. C.
- (37) Thitasut, P.: "Action of Aqueous Solutions of Iodine on Fresh Vegetables and on the Infective Stages of Some Common Intestinal Nematodes," *Amer J Trop Med.*, 10:39-43, 1961.
- (38) Chang, S. L., y Kabler, P. W.: "Detection of Cysts of *Endamoeba histolytica* in Tap Water by the Use of Membrane Filter," *Amer J Hyg*, 64:170-180, 1956.
- (39) Metzler, D. F., *et al.*: "Emergency Use of Reclaimed Water for Potable Supply at Chanute, Kan.," *J Amer Water Works Ass*, 50:1021-1060, 1958.
- (40) Strong, R. P.: *Still's Diagnosis, Prevention and Treatment of Tropical Diseases*, Filadelfia: Blakiston, 7ª ed., 1944.
- (41) Manson Bahr, P.: *Manson's Tropical Diseases*. London: Cassell Ltd., 1954.

### Iodination of Water (Summary)

The history of iodination of water is traced from its military use, through emergency use in peacetime and swimming pool sanitation, to its application to small supplies. Iodination has never been considered where chlorination was practical, i.e., municipal supplies. This can be explained by the lower disinfection efficiency of

iodine (on a milligram per liter basis), high cost, and pharmacologic property of iodine as contrasted with the higher disinfection efficiency, low cost, and physiological inertness of chlorine.

Iodination, however, has its merits in disinfecting rural or small water supplies where the more sophisticated chlorination process is not very

practical. This advantage of iodination derives from the inertness of iodine and HOI to ammonia, its relatively low reactivity to organic matter, and the ease with which an iodine dosing device can be set up, even under primitive conditions. Long experience with iodized salt and favorable results obtained in field studies indicate the relative safety of iodination of water at the 1- to 2-milligram per-liter level and the remoteness of encountering adverse effects of iodine at the 3- to 4-milligram-per-liter level.

The viricidal efficiency of HOI and the cysticidal and cercaricidal efficiencies of  $I_2$  bring destruction of these pathogens to within the reach of

iodination at practical dosages, provided that the water to be treated is free from gross pollution. Destruction of hookworm infective larvae requires too high an  $I_2$  concentration to be practical.

An iodination dosing device, suitable for use under most rural conditions, is illustrated, and maintenance of solid iodine to a constant depth in the saturation bed is described. Methods for determining the strength of the dosing solution and the iodine residuals and demands are suggested. The importance of providing a minimum 20-minute contact time and adjusting the pH of ground water with high alkalinity are stressed.

### Iodação da Água (Sumário)

O autor apresenta a história da iodação da água, sua introdução como medida profilática militar, providência de emergência em tempo de paz, saneamento de piscinas e proteção de sistemas de abastecimento pequenos. Nos abastecimentos de água municipais, onde a cloração é medida prática, a iodação nunca foi considerada. A explicação está na pequena eficácia do iodo como desinfetante (na base de concentrações de miligramas por litro), seu custo elevado e suas propriedades farmacológicas, enquanto o cloro é mais eficaz como desinfetante, custa mais barato e é fisiologicamente inerte.

A iodação tem, no entanto, seus méritos como desinfetante rural ou de pequenos abastecimentos de água onde a cloração, processo mais complexo, não é muito prática. A vantagem da iodação está na inatividade do iodo e do HOI em presença do amoníaco, sua reatividade relativamente baixa à matéria orgânica e a facilidade com que o aparelho de dosagem do iodo pode ser instalado, mesmo em condições primitivas. A longa experiência com o sal iodado e os resultados favoráveis obtidos nos estudos de

campo mostram a relativa segurança da iodação da água em concentrações de 1 a 2 miligramas por litro, assim como a remota possibilidade de que o iodo cause efeitos adversos em concentrações de 3 a 4 miligramas por litro.

A capacidade viricida do HOI e cisticida e cercaricida do  $I_2$  causa a destruição desses agentes patogênicos em concentrações do iodo práticas, desde que a água não se encontre fortemente poluída. A destruição das larvas infetantes do ancilóstomo requer concentração de  $I_2$  demasiado alta para que seja prática.

O artigo traz o esquema de um aparelho de dosagem de iodo que pode ser utilizado nas zonas rurais em quase toda classe de condições e descreve a forma de manter o iodo sólido numa profundidade constante no leito de saturação. Sugere métodos para determinar a concentração da solução da dose e os resíduos e as demandas de iodo. Assinala a importância de permitir um período de contacto mínimo de 20 minutos e de ajustar o pH das águas subterrâneas de grande alcalinidade.

### L'Iodisation de l'Eau (Résumé)

L'iodisation de l'eau remonte à son emploi par les forces armées, à son utilisation exceptionnelle en temps de paix et à l'assainissement des piscines jusqu'à son application à des quantités restreintes d'approvisionnement d'eau. L'iodisation n'a jamais été envisagée dans les cas où l'on pouvait javelliser l'eau, à savoir les approvisionnements

municipaux. Ceci s'explique par le pouvoir désinfectant plus faible de l'iode (concentration: un mg par litre), le coût élevé et la propriété pharmacologique de l'iode par rapport au pouvoir désinfectant plus grand, du coût peu élevé et de l'inertie physiologique du chlore.

Toutefois, l'iodisation présente des avantages

dans la désinfection des approvisionnements en eau ruraux ou limités où le procédé plus compliqué de chloration n'est pas très pratique. Cet avantage que présente l'iodisation est dû à l'inertie de l'iode et du HOI en présence d'ammoniaque, à sa réactivité relativement faible aux substances organiques et à la facilité avec laquelle on peut monter un dispositif de dosage, même dans conditions primitives. L'expérience prolongée avec le sel iodé et les résultats favorables obtenus à la suite des enquêtes effectuées sur place mettent en évidence la sécurité relative de l'iodisation de l'eau à des concentrations de 1 à 2 mg par litre et le peu de probabilité que l'iode produise des effets fâcheux à des concentrations de 3 à 4 mg par litre.

Le pouvoir virulicide du HOI et les propriétés cysticides et cercarieides de  $I_2$  permettent la

destruction de ces agents pathogènes par l'iodisation à des doses pratiques à condition que l'eau à traiter ne soit pas trop contaminée. La destruction des larves infectieuses de l'ankylostome exige une concentration trop forte d' $I_2$  pour être d'utilité pratique.

L'article présente un dispositif pour le dosage de l'iodisation permettant son emploi dans la plupart des régions rurales et décrit la façon de maintenir l'iode solide à une profondeur constante dans le lit de saturation. Des méthodes sont recommandées permettant de déterminer la concentration de la solution à doser et l'iode résiduel et la demande d'iode. L'auteur souligne l'importance qu'il y a de permettre une durée de contact de 20 minutes au minimum et de maintenir le niveau du pH des nappes d'eau souterraines à alcalinité élevée.