

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DIRECCION DE INGENIERIA AMBIENTAL

" TRIHALOMETANOS EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA "

TRABAJO REALIZADO COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGE -
NIERIA AMBIENTAL QUE PRESENTA :

ING. ANTONIO JIMENEZ LOZANO

MEXICO, D.F., AGOSTO, 1981.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

México, D. F., a 9 de junio de 1981

DR. RAUL CUELLAR CHAVEZ
SUBJEFE DEL AREA DE INGENIERIA AMBIENTAL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
CIUDAD UNIVERSITARIA

Como miembro del jurado para el exámen de maestría en ingeniería ambiental del Ing. Antonio Jiménez Lozano, y de acuerdo al reglamento para realizar exámenes con tesis sin valor en créditos para obtener el grado, me permito proponer a su consideración el siguiente tema de exámen de grado:

TRIHALOMETANOS EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

1. Desinfección del agua
2. Desinfección con cloro
3. Investigaciones recientes. Problemática de los trihalometanos
4. Medición y control
5. Conclusiones y recomendaciones
6. Bibliografía consultada

El Ing. Jiménez deberá desarrollar dicho tema en un plazo no mayor de 30 días.

A T E N T A M E N T E



ING. GASTON MENDOZA GAMEZ
PROFESOR DE LA DEPTI.

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 SECRETARIA ACADEMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL
 AUTÓNOMA

UNION DE PROFESORES
 FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM

Por este medio se hace constar que el señor ingeniero ANTONIO JIMENEZ LOZANO, alumno regular de la Sección de Ingeniería Ambiental de esta División, cursó y aprobó las siguientes asignaturas, con las cuales - reune 75 créditos de los 73 requeridos para optar al grado de maestro en esa especialidad, faltándole presentar únicamente el examen correspondiente, con un promedio general de 8.0

CLAVE	ASIGNATURA	CALIFICACION
004300*	Probabilidad y Estadística	A
612706	Recolección y Almacenamiento de Residuos sólidos	B
612702	Seminario de Ingeniería Ambiental	B
612706	Control del ruido	B
620206	Sistemas de alcantarillado	B
623408	Sistemas de ingeniería ambiental	S
620006	Aplicación de mecánica de fluidos en Ing. Sanitaria	MB
619908	Microbiología sanitaria	S
617006	Probabilidad y estadística I	B
619809	Química Sanitaria	MB
622200	Modelos de Ingeniería Ambiental	B
608806	Operaciones unitarias en Ing. Sanitaria	B
623306	Control y contaminación del suelo	B
0063*	Química orgánica y biológica	A
0001*	Redacción Técnica	A
0998*	Inglés	A

* sin crédito académico

A petición del interesado y para los fines legales que a este con-
 vengan, se extiende la presente constancia a los dos días del mes
 de junio de mil novecientos ochenta y uno.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 SECRETARIA ACADEMICA AUXILIAR

M en I GABRIELA MOELLER DE JALIFE

RECONOCIMIENTOS

ESTE TRABAJO ES LA CULMINACION DE UN ESFUERZO REALIZADO GRACIAS AL APOYO DE MI ESPOSA Y DE MIS HIJOS.

LA AMISTAD DEL DR. UBALDO BONILLA Y SUS VALIOSAS ORIENTACIONES, FUERON DEFINITIVAS EN EL LOGRO DE ESTA META.

AGRADEZCO SUS ENSEÑANZAS AL DR. RAUL CUELLAR, A - LOS MAESTROS FRANCISCO MONTEJANO, GASTON MENDOZA Y SALVADOR AYANEGUI.

TRIHALOMETANOS EN SISTEMAS
DE ABASTECIMIENTO DE
A G U A

INTRODUCCION:

El agua es fundamental en la existencia de todo ser viviente. El ser humano, en promedio contiene en su sangre 80% de agua, en el riñón 82%, en su tejido muscular 75.8%, en el cerebro 74.5% y en el tejido óseo un 22%. El agua en el cuerpo humano fluye a través de todos sus órganos, transportando materiales nutritivos y de desecho. ⁽¹⁾

La industria y la agricultura también requieren del agua por ejemplo, una planta de maíz necesita de 190 litros desde su sembrado hasta su recolección; en la producción de un kilo de -- arroz son necesarios 1,700, para la de un litro de leche 4,200 y para un kilo de carne 22,000. Asimismo, la producción de una tonelada de ladrillo requiere de 2,200 litros, la de una de acero - 165,000, la de un automóvil 380,000 y la de una tonelada de material plástico 1,320,000 litros. ⁽²⁾

El agua, pues, juega un papel muy importante en la so-- ciedad, y para usarse, debe tener ciertas características físicas, químicas y biológicas que cumplan normas establecidas. El cumpli-- miento de ellas, se realiza bajo el control de los diferentes cri-- terios de calidad que implican conocer las condiciones de las -- fuentes de abastecimiento como son ríos, lagos, manantiales, po-- zos, etc., y el destino específico de dichas aguas como serían - balnearios, pesca, riegos, fábricas, uso doméstico, etc.

1.- Desinfección del agua.

El beber agua es cosa cotidiana e indispensable y para ello debe ser potable, es decir, libre de microorganismos patóge-- nos, de sustancias venenosas, de sustancias fisiológicamente inde-- seables. (exenta de color, turbidez y sabor)

En los procesos físico-químicos de tratamientos del agua como son coagulación, floculación, sedimentación, filtración, -- adsorción, los patógenos de todos tipos son removidos en cantidades significativas. Sin embargo, debe asegurarse la prevención de la transmisión de enfermedades humanas (especialmente entéricas) y para ello se le somete al procedimiento más antiguo del control de calidad del agua: la desinfección.

Se entiende por desinfección la acción o efecto de destruir los agentes infecciosos, aplicando según el caso uno o varios desinfectantes. ⁽³⁾

Desinfectante: Agente que mata las formas vegetativas de los microorganismos patógenos, pero no necesariamente las formas resistentes o esporas.

Los desinfectantes deben reunir ciertas propiedades: ⁽⁴⁾

a) Poder destruir a los patógenos en tiempo relativamente corto, dentro de un determinado rango de temperatura y concentraciones de algunos elementos en el agua.

b) Las dosificaciones necesarias no deben ser tóxicas al hombre ni a los animales domésticos.

c) Sus concentraciones en el agua deben ser detectables por métodos sencillos.

d) Tener un período razonable de protección residual de recontaminación.

e) Costo accesible en su adquisición y aplicación a grandes volúmenes de agua.

La desinfección puede realizarse aplicando tratamientos concebidos bajo diferentes agentes como son: energía calorífica, energía eléctrica, radiación con luz ultravioleta, rayos Gamma, rayos X, vibraciones ultrasónicas, metales pesados, álcalis y ácidos, productos tensoactivos y los más comunmente usados, reactivos químicos.

Con excepción de los reactivos químicos, los otros tienen poca importancia en el tratamiento de agua potable para abastecimientos municipales, por los inconvenientes de no cumplir con las propiedades (d) y (e) anteriormente mencionadas. Su aplicación se confina a nivel industrial - farmacéutico - alimenticio. Por eso se exponen breves comentarios sobre ellos.

Cuando por cualquier causa se pone en duda la potabilidad del agua, como emergencia, debe indicarse a los consumidores que la hiervan, pues las enfermedades hídricas peligrosas no las causan esporas bacteriales resistentes al calor.

El sonido ultrasónico rebasa los 200,000 ciclos/seg., originando cavitación en el interior de las bacterias, aumentando intensamente su presión, haciendo que estallen.

Una corriente eléctrica de 4,000 voltios y 2 amperes - aplicada durante cuatro minutos, puede originar la pérdida de potencial ξ de los microorganismos, tendiéndose éstos a aglomerarse para después colocarse en las paredes o en el fondo del depósito de agua que los contiene.

El poder germicida de la luz ultravioleta ocurre cuando ésta varía sus longitudes de onda entre 2600 y 2700 Å. Las células expuestas pueden reproducirse a veces, pero su progenie no. Si la energía es superior a cinco electrón volt, se interfiere la síntesis enzimática o la de ácidos nucleicos, también pueden producirse venenos extra o intracelulares o efectuarse mutación genética letales. El fenómeno de fotoreactivación puede ocurrir cuando una suspensión bacteriana se expone nuevamente a la luz visible, es decir alguna de las "células inactivadas" se recobran. (5)

Las radiaciones gamma son de alta energía. Las emiten ciertos isótopos radiactivos como el cobalto 60. Los rayos gamma son semejantes a los rayos X pero de longitud de onda más corta. Ambos tienen gran poder penetrante y bactericida. Una de las causas principales de los efectos nocivos de la radiación gamma y de rayos X, se debe a la ionización del agua intracelular con liberación de radicales hidroxilo e hidrógeno, los que reaccionan con otros compuestos de la célula causándole efectos mortales.

Entre los metales pesados, la plata es quizá el más --- importante bactericida para agua potable. La mortandad de E. Coli es efectiva cuando se expone a períodos de 24 a 2 horas y concentraciones de 0.006 p.p.m. a 0.5 p.p.m. La plata inhibe su acción bactericida cuando precipita, después de reaccionar con materia orgánica, además es cara a las concentraciones en que se emplea.

Un procedimiento para desinfección es pasando una corriente de 100 volts por dos electrodos de plata sumergidos en el agua.

El ión cobre es buen alguicida, fuerte bacteriostático pero débil bactericida. En aguas ligeramente alcalinas tiende a precipitar, perdiendo su efectividad.

El mercurio no debe usarse en tratamiento de agua potable porque es muy dañino al hombre.

Las aguas muy alcalinas ($PH > 11$) o muy ácidas ($PH < 3$), ocasionan en las células bacterianas patógenas los fenómenos osmóticos de plasmoptosis o de plasmolisis que pueden producirles inhibición o destrucción. Como ejemplo se tiene el proceso de ablandamiento con cal apagada. Como agentes tensoactivos están los de tergentes catiónicos que, en medio acuoso, resultan potentes de- sinfectantes.

Los productos químicos cumplen con las cinco propiedades deseables en todo tratamiento de agua potable, comentadas anteriormente, haciéndolos de uso prácticamente exclusivo en la desinfección de abastecimientos.

Los desinfectantes químicos pueden clasificarse en:

a) Agentes químicos oxidantes, que comprenden a los haló genos cloro, bromo y yodo.

b) Ozono

c) Otros oxidantes como el permanganato de potasio y el peróxido de hidrógeno.

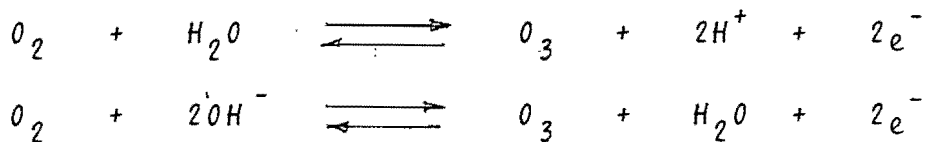
1) El cloro elemental y varios de sus derivados son los más empleados, por lo económico, en el tratamiento de abastecimien tos.

El bromo es un líquido denso, de color pardo rojizo y muy soluble en agua. La formación con materia orgánica de compuestos con efectos fisiológicos desconocidos y su costo de aplicación más elevado respecto al cloro, desechan su aplicación en el tratamiento de agua potable, limitando su uso a desinfección de albercas en donde se aplica como bromo elemental Br_2 o como hipobromito BrO^- . La hidrólisis del bromo da ácido hipobromoso, éste por protólisis se transforma en hipobromito, el cual reacciona con el amoníaco del agua produciéndose monobromoaminas y dibromoaminas. La monobromoamina es un bactericida fuerte.

El yodo es un agente bactericida muy activo, puro es un elemento cristalizado, negro azulado, con reflejo metálico. Muy poco soluble en agua, pero relativamente estable en ella. Probablemente por ser más costosa la desinfección con yodo, no se ha popularizado su aplicación en tratamientos de agua potable y al igual que el bromo su empleo se ha limitado a piscinas y pequeños abastecimientos rurales.

La hidrólisis del yodo da ácido hipoyodoso, éste por protólisis se transforma en ión hipoyodito que actúa como bactericida eficaz.

b) El ozono es un gas inestable. Su solubilidad en el agua depende de la temperatura y la presión parcial con que se aplique. Sus reacciones generales son de la forma:



El ozono es indudablemente el más poderoso oxidante usado en tratamientos de agua potable. No ha tenido difusión en E.U. Canadá o Gran Bretaña, por la muy elevada calidad de agua que se localiza en éstos lugares. En el Oeste de Europa se usa exitosamente en algunas de las grandes ciudades que toman sus aguas del Sena, Rhin y otros ríos altamente contaminados. El ozono tiene múltiples aplicaciones en el tratamiento de agua potable: ^[6]

- Remoción de color
- Remoción de sabor y olor
- Remoción de orgánicos (fenoles, detergentes, etc.)
- Remoción de algas
- Remoción de sulfitos
- Remoción de hierro y manganeso
- Remoción de turbiedad
- Floculación de microcontaminantes (orgánicos solubles)
- Inactivación viral
- Desinfección bacterial
- Oxigenación del agua antes de tratamiento biológico - con carbón activado

El ozono no produce sustancias tóxicas como sucede en el proceso de cloración. Además su desinfección es efectiva en ciertos patógenos resistentes al cloro como son ciertas formas de virus y quistes.

El alto poder bactericida y virucida del ozono sólo se conserva por pocos minutos; por eso es necesario practicar posteriormente una cloración para protección residual.

Una de las causas por las que no se ha generalizado el tratamiento de agua potable por ozono, es el costo de inversión inicial y los costos de producción y mantenimiento de equipo, más elevados que cuando se usa cloro. Sin embargo se siguen realizando estudios de inactivación de virus y bacterias en agua potable a través de este elemento.

c) El permanganato de potasio, $KMnO_4$ es un oxidante fuerte que exhibe propiedades desinfectantes notables, ^(7,8) no produce compuestos de toxicidad potencial, es efectivo y económico para eliminar sabores y olores y remover el hierro y el manganeso. Aplicado antes de la cloración puede reducir la cantidad de cloro. Es posible usarlo en combinación con otros productos como el carbón para obtener una calidad mejor de agua. Se usa normalmente en dosificaciones comprendidas entre 0.5 y 2.5 miligramos por litro, pero puede aumentarse la dosis para aguas más contaminadas. Se puede controlar visualmente o con un analizador continuo.

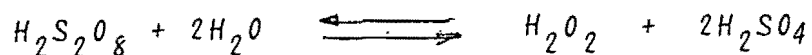


DEPTO

T. UNAM
1981
JIM

La reacción produce dióxido de manganeso que puede actuar como -- flocculante auxiliar. Finalmente el permanganato de potasio es se guro y manipulable.

El peróxido de hidrógeno, H_2O_2 , es un líquido claro, se produce por electrólisis del ácido persulfúrico: en dos etapas: ⁽⁸⁾



Esta sustancia no es práctica en el tratamiento de agua potable pues en concentraciones altas de 1.5 a 5% necesita períodos de contacto hasta de 4 horas, porque su poder desinfectante - se disminuye por la acción de la enzima catalasa contenida en las células patógenas que la escinde en agua y oxígeno.

2.- DESINFECCION CON CLORO.

El cloro fué descubierto hace unos doscientos años de la combinación de magnesio y ácido hidrocblórico, por el químico-suízo Karl Scheele. No fué sino hasta 1810 que este recibió el nombre de cloro por el inglés Sir Humphry Davy.

La primera vez que se aplicó el cloro como desinfectante de agua, fué por un corto período de tiempo en Inglaterra el año de 1897.

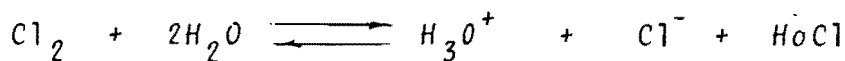
En condiciones normales el cloro es un gas tóxico 2.44 veces más pesado que el aire, de color amarillo verdoso. Cuando está licuado es color ambar y pesa 1.44 veces más que el agua. Es un oxidante fuerte que reacciona con muchos elementos y compuestos. En lugares húmedos el cloro es muy corrosivo hacia los metales. - Actualmente la aplicación más generalizada para la desinfección del agua potable es su cloración por el cloro y sus compuestos, - porque cumple con las siguientes características: ⁽⁸⁾

- 1.- Es aplicable como gas, líquido o polvo.
- 2.- Es barato.
- 3.- Es fácil de aplicar debido a su alta solubilidad. (7000 mg/l.)
- 4.- Deja un residuo en solución que protege de recontaminación al sistema de distribución por un período de tiempo razonable.
- 5.- Es muy tóxico para la mayoría de los microorganismos deteniéndoles su actividad metabólica.
- 6.- Su determinación analítica es sencilla y bastante precisa.

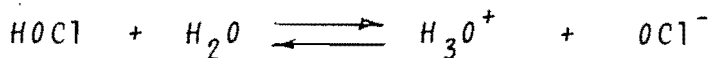
Solamente en E.E.U.U. hace 20 años existían más de 10,000 plantas de tratamiento dando servicio a alrededor de 135 millones de habitantes.

La acción bactericida del cloro resulta principalmente de la reacción química entre el ácido hipocloroso HOCl y la estructura celular bacteriana o viral. La rapidez de desinfección depende entre otros factores, de la concentración del desinfectante, del tiempo de contacto, del pH y de la temperatura. El ácido hipocloroso produce más efectos letales que el ión hipoclorito en una relación aproximada de 80 a 1.

El cloro elemental por hidrólisis en solución acuosa da ácido hipocloroso:



El ácido hipocloroso por protólisis da ión hipoclorito:



Dado que el ácido hipocloroso es un bactericida más fuerte que el ión hipoclorito, es de interés práctico conocer la cantidad de cloro como porcentaje de ácido hipocloroso.

Es muy importante saber que la distribución del Cl_2 , HOCl y OCl^- depende del pH.

La presencia del cloro elemental es momentánea en la zona normal del pH, no así la del ácido hipocloroso y del ión hipoclorito, por ello a éstos dos últimos se les llama cloro libre -- disponible. (4, 8)

Al aumentar el pH debe incrementarse la dosificación de cloro y el tiempo de contacto.

El cloro reacciona con el amoníaco formando diferentes clases de cloraminas: monocloraminas, NH_2Cl , dicloraminas, NHCl_2 , y tricloroaminas llamadas también tricloruro de nitrógeno, NCl_3 .

La formación de éstas sustancias depende del pH. La última no es estable, prevaleciendo las dos primeras a las que -- desde un punto de vista operacional se les llama cloro disponible combinado.

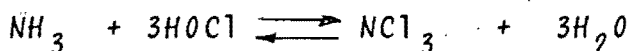
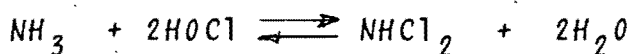
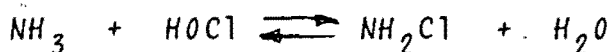
En ocasiones, cuando se necesita un cloro residual más estable, se añade amoníaco al agua, durante o inmediatamente después de la cloración.

El uso del cloro disponible combinado es útil cuando hay fenoles en el agua, pues elimina posibles sabores desagradables. La acción desinfectante de las cloraminas es más lenta que la del cloro solo, por eso es necesario proporcionar una dosis más elevada y ampliar el período de contacto para asegurar una acción bac-

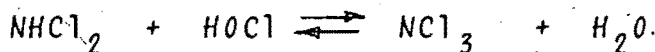
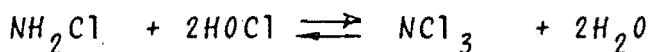
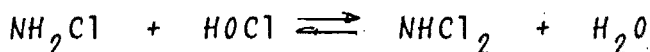
tericida, con la ventaja de que el período de efecto residual es mucho más amplio que cuando se aplica un tratamiento con cloro libre disponible.

Las dosis relativas de cloro y amoníaco dependen de las características del agua por tratar pero como una regla general - da resultados satisfactorios utilizar por cada parte de cloro una tercera parte de amoníaco; sin embargo, cuando los sabores a fenol sean un problema, la proporción de amoníaco puede aumentarse.

El ácido hipocloroso con el amoníaco presenta la reacción más significativa en la formación de cloraminas. (8,9)



o bien:



Cuando se agrega cloro al agua las primeras reacciones - causan la destrucción de los contaminantes reductores de cloro -- contenidos en el agua, que pueden ser orgánicos o inorgánicos como el hierro, manganeso, nitratos o sulfuros de hidrógeno, no desarrollándose en esta primera etapa una acción desinfectante. Al agregar más cloro se forman cloraminas, las que tienen una acción desinfectante lenta. Si se agrega aún más cloro, éstos compuestos se destruyen para llegar a lo que se llama punto de quiebre, a -- partir del cual se tendrá cloro libre disponible residual en cierta relación con el exceso de cloro agregado, y que tiene una rápida acción desinfectante.

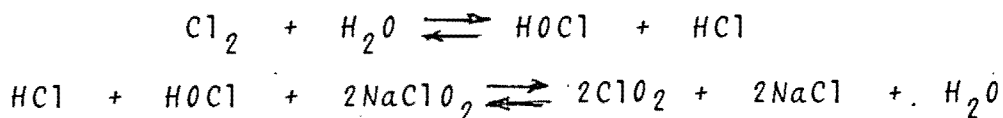
La cloración del agua puede llevarse por diferentes métodos según sean los reactivos que se apliquen como son el cloro elemental líquido o gaseoso, Cl_2 , el hipoclorito sódico, NaOCl , el hipoclorito de calcio, $\text{CaCl}(\text{OCl})$. La selección entre los diferentes productos comerciales depende principalmente del costo por -- unidad de cloro disponible.

En casos especiales (como cuando se desea eliminar olores y sabores), se incrementa fuertemente la dosificación de cloro y al final del tiempo de contacto necesario, se elimina el exceso - agregando algún agente de clorador como sería el tiosulfato de so dio, el bióxido de azufre o carbón activado. Este proceso se llama supercloración-decloración.

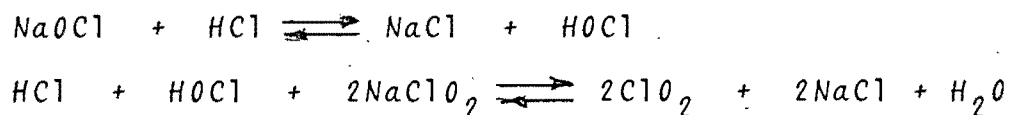
También el cloro puede agregarse al agua antes de cualquier tratamiento o entre dos etapas de él, para así reducir la carga bacteriana de la planta, controlar olores o evitar el creci miento de algas indeseables. Esta práctica se llama precloración para distinguirla de la de cloración efectuada como etapa final - del tratamiento.

Aunque el dióxido de cloro se usa en Europa para trata mientos de agua desde 1850, ⁽¹⁰⁾ no fue sino hasta 1960 que se de terminaron sus mecanismos de desinfección. La capacidad bacteri- cida y virucida del ClO_2 es aproximadamente 2.5 veces mayor que - la del cloro elemental y ésta capacidad aparentemente no se afec ta al cambiar el pH entre 6 y 10, haciéndolo especialmente valio- so en aguas alcalinas.

Hay por lo menos dos formas de producir dióxido de clo ro en un tratamiento de agua potable. En la primera una solución de cloro simple se hace reaccionar con una solución de clorito só dico.



En el segundo método, una solución de hipoclorito se - combina con un ácido mineral.



Las técnicas de aplicación del ClO_2 son muy semejantes - a las usadas para dosificar cloro líquido en las plantas de trata miento.

El empleo de bióxido de cloro es más caro que el del -- cloro elemental, sin embargo en altas demandas del segundo, el primero puede efectuar una desinfección superior a menor costo. Un ejemplo de esto lo tenemos en la planta de tratamiento de la ciudad de Hamilton, Ohio, E.U.A., donde cambiaron el tratamiento de agua potable de cloro a dióxido de cloro para obtener un mejor efecto residual en sus líneas de distribución hasta por 15 millas de alcance, después de que el agua tratada sale de la planta.

En casos donde la reducción-eliminación de trihalometanos es la meta, el dióxido de cloro puede sustituir al Cl_2 sin tomar en cuenta el costo.

3.- PROBLEMATICA DE LOS TRIHALOMETANOS. INVESTIGACIONES RECIENTES.

El cáncer es una proliferación perniciosa y desencadenada de las células somáticas. Se produce espontáneamente, aunque también puede ser inducido por radiación ionizante, virus y agentes químicos que se conocen como carcinogénicos.

En la actualidad millones de personas beben agua tratada por cloración. Esta técnica origina la formación de sustancias halogenadas llamadas trihalometanos, especialmente el cloroformo, de las cuales se sospecha son carcinogénicas al hombre.

En reportes recientes de investigaciones practicadas en ratas y ratones a los que en determinados lapsos se les dieron dosis orales en ml./kg. de peso, se estableció que el cloroformo es un cancerígeno potencial del hígado y riñón, aunque de grado mínimo desde un enfoque maligno y metastásico.

Apoyándose en la conjetura de que el hombre responde como los roedores en reacciones carcinogénicas, se realizaron extrapolaciones de datos, aplicando diferentes modelos estadísticos, estableciéndose un nivel máximo permisible de concentración de cloroformo (y de otros compuestos halogenados) de 70 µg./l en la toma del usuario.

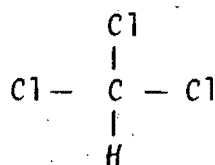
Las primeras investigaciones respecto a la formación de organoclorados en los tratamientos para agua potable fueron reportados en 1974 por el investigador holandés Rook (7, 11, 12, 13, 14, 3T) descubriendo que aparecían niveles significativos de haloformas inmediatamente después de la cloración. Ese mismo año en Nueva Orleans, Bellar, Lichtenberg y Krone (7, 13, 14) publicaron que en algunos abastecimientos de agua en E.U.A. se tenían importantes niveles de organohalogenados. Concluyeron que los orgánicos halogenados descubiertos, eran el resultado de la reacción del cloro usado para desinfección, con sustancias orgánicas-llamadas precursores- contenidas en el agua cruda. Entre los principales haloformas se tienen los trihalometanos, especialmente el cloroformo.

Reacción:

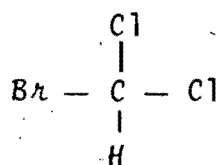
cloro + precursor = trihalometano.

Los trihalometanos son miembros de un grupo químico-orgánico, que contiene un átomo de carbono, uno de hidrógeno y tres de halógenos. Los halógenos importantes en la formación de trihalometanos son el cloro, el bromo y el yodo.

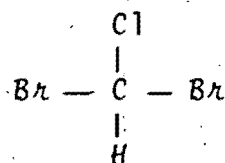
Las fórmulas desarrolladas de los cuatro trihalometanos - comúnmente asociados con la cloración son: ⁽¹⁵⁾



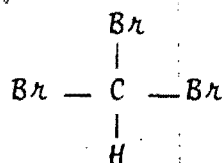
Triclorometano
(cloroformo)



Bromodiclorometano



Dibromoclorometano



Tribromometano
(Bromoformo)

El trihalometano predominante en las aguas tratadas es normalmente el cloroformo. Las investigaciones y deducciones de Babcock y Singer ⁽¹⁴⁾ indican que el ácido húmico y el ácido fúlvico son quizá los más importantes precursores. Estas sustancias se localizan en aguas que contienen materia orgánica y por ende - en fuentes superficiales provenientes de zonas boscosas.

Aunque se desconoce la naturaleza exacta de los precursores, al respecto Rook ^(13,16) dedujo que una estructura de 1.3 dihydroxybenzeno dentro del material húmico puede ser responsable de la formación de trihalometanos. Rook también sugiere que cualquier agua cruda coloreada, ya sea de fuentes superficiales o subterráneas, que es clorada, contendrá trihalometanos. -- Kleopfer y otros observadores ⁽¹⁴⁾ detectaron que la presencia de bromuro en el agua, aumenta la formación de trihalometanos (T.H.Ms.) para una determinada dosificación de cloro.

El pH tiene una gran influencia en la formación de -- T.H.Ms., ejemplo de ello es el estudio realizado en la ciudad de Contra Costa en donde la presencia de T.H.Ms. se redujo al 50%, - cuando el pH se rebajó de 9 a 7.

Se puede plantear la cinética de formación si se supone que la razón de producción de THM está relacionada con el cloro residual: ⁽³¹⁾

$$\frac{d}{dt} (\text{THM}) = - \frac{dC}{dt} = k_2 (Cl_2) (C)^m$$

en donde m es el orden de la reacción con respecto a la concentración del precursor y C es la concentración del precursor orgánico.

Siendo el cloroformo el trihalometano más abundante en las aguas tratadas con cloro, y dado que recientemente se ha descubierto que altas dosis de este orgánico halogenado es cancerígeno para ratas y ratones, es de sospechar que tales efectos se reflejan también en el hombre como se dijo anteriormente.

Al respecto la USEPA considera al cloroformo un cancerígeno humano potencial, al igual que otros trihalometanos, y ha puesto un nivel máximo aceptable de 0.10 mg/l para el total de -- trihalometanos (TTHM) en la toma del consumidor. Por estas razones, han surgido múltiples investigaciones para determinar la presencia de THMs en agua potable; como el estudio sobre tratamiento de aguas en el Este de Texas, ⁽¹³⁾ que reveló altos niveles de -- THMs en toda el agua tratada proveniente de abastecimientos superficiales y niveles bajos en aguas potables de fuentes subterráneas.

En una investigación realizada durante un año en Southampton, Inglaterra, ⁽¹²⁾ se determinó que el nivel de THMs aumenta significativamente dentro de los sistemas de distribución cuando el agua tratada contiene cloro residual, un precursor o ambos - y no deja de aumentar hasta que se acaba cualquiera de los dos. - Los investigadores concluyeron que para asegurar la defeción de - niveles máximos de THMS, el muestreo deberá hacerse en las tomas de los consumidores.

Por el creciente interés de confirmar que la cloración de agua cruda produce cloroformo y otros THMs, la USEPA en 1975, llevó a cabo un estudio (National Organics Reconnaissance Survey, N.O.R.S.) durante un año en 14 plantas de potabilización ⁽¹⁶⁾ para determinar las diferentes concentraciones de THMs, primero en -- agua cruda, a continuación en el agua inmediatamente después de -- la introducción inicial de cloro y por último, en el agua terminal del tratamiento, llegando a las conclusiones siguientes:

- Los THMs no se encuentran presentes en cantidades -- apreciables en el agua cruda.

- Los trihalometanos se presentan en una gran variedad de concentraciones en las aguas tratadas, pero esas concentraciones tienden a disminuir en los meses fríos, quizá debido a la temperatura o porque también bajan los niveles de los precursores.

- Los fenoles y aminas aromáticas en agua, pueden reaccionar con el cloro para formar cloroformo en soluciones con alto pH, lo mismo que algunos compuestos carbono-alifáticos.

- Dado que la concentración de THMs varió durante el -- año, se recomendó realizar pruebas periódicas.

En los años 1974-1975, la USEPA llevó a cabo un estudio en 80 ciudades ^(7, 11, 17, 18) para analizar la magnitud de la incidencia de compuestos orgánico-clorados en los abastecimientos de agua potable, habiéndose identificado seis en el agua cruda y tratada: cloroformo, bromodichlorometano, dibromoclorometano, bromoformo, carbón tetracolorado y 1-2 dicloroetano.

4.- MEDICION Y CONTROL.

Medición.- La propuesta de la USEPA (15,19) respecto al nivel máximo aceptable para el contenido de THMs en agua potable, 100 µg/l, entró en vigor a partir de noviembre de 1979 en los E.U.A. El cumplimiento de dicha norma requiere de un programa previo de pruebas (muestreos y mediciones)

En las plantas de tratamiento de agua superficial las muestras serán trimestrales y recolectadas el mismo día, Si los análisis arrojan un valor menor al nivel máximo aceptable, éstas podrán ampliarse a intervalos anuales. En las plantas de tratamiento de agua subterránea, los muestreos se practicarán por lo menos una vez al año.

Las muestras deberán tomarse en la red de distribución, no a la salida de la planta; el 25 % de ellas tienen que ser representativas de la mayor permanencia del agua dentro del sistema, es decir, tomadas en las partes más alejadas de la planta de tratamiento, las restantes se colectarán en la parte media de la red.

El muestreo se realizará en botellas especiales, que se llenarán completamente y sin burbujas. Pueden almacenarse hasta 14 días antes de su análisis, pero no refrigerarse en éste lapso.

La USEPA aprobó dos procedimientos analíticos que pueden usarse para la medición de THMs, que son técnicas de cromatografía en gas, en cualquiera de los métodos llamados "purga y trampa" y "extracción líquido-líquido"⁽¹⁵⁾

Bellar y Lichtenberg (7,12,13,20) son los coautores del método "Purga y trampa" que a grandes rasgos consiste en la purificación con helio de una pequeña muestra de agua (alrededor de 5 ml.) A la temperatura ambiente los THMs son absorbidos por un polímero y por calentamiento atrapados en la cabeza de una columna de gas cromatográfico (GC) en donde se miden cromatográficamente.

Henderson y otros (13,20,21) publicaron por primera vez en 1975 el procedimiento llamado "extracción líquido-líquido" -- (LLE). El proceso consiste en sustituir en una botella de muestra

sellada 3 ml. de n-pentano por una cantidad igual de agua muestreada. Una parte alícuota del contenido de la botella se expone a cromatografía de gas para cuantificar los THMs.

Se ha criticado la técnica LLE ya que no es selectiva entre componentes volátiles y no volátiles. Por otra parte la hace ventajosa, lo poco complicado del equipo y la simplicidad del proceso.

Control.- En 1975 la US. Environmental Protection Agency (USEPA), inició un monitoreo nacional de orgánicos ("National Organics Monitoring Survey":NOMS), en 113 ciudades y encontró que sus abastecimientos de agua alcanzaban niveles de cloroformo de 0.54 mg/l con un total de trihalometanos hasta de 0.695 mg/l, muy superiores al nivel máximo permisible.

Las personas también están expuestas al cloroformo en el aire que respiran y en los alimentos que comen. En análisis de contribuciones relativas de cloroformo en el agua potable, aire y alimentos, se detecta que el agua contribuye desde cero hasta más del 90% del total.

Como los modelos metabólicos de cloroformo en animales son cualitativamente semejantes a los de humanos, se conjetura la potencialidad carcinogénica del triclorometano en el hombre. Por eso su incidencia debe ser controlada por métodos tecnológica y económicamente posibles pero sin detrimento de la calidad microbiológica del agua tratada.

Los métodos factibles para el control de trihalometanos se pueden clasificar en:

I.- Remoción de los trihalometanos después de su formación.

II.- Prevención de la formación de los trihalometanos, removiendo los precursores antes de la cloración.

III.- Sustitución del cloro por otros desinfectantes que no formen trihalometanos.

I.- Remoción de los THMs después de su formación.

La Usepa se avocó a realizar investigaciones al respecto y encontró ⁽⁷⁾ que el carbón granular activado (GAC) es efectivo pero de corta vida que puede medirse en semanas. Sin embargo, en Davenport Iowa, se obtuvieron resultados inesperados pues la remoción de THMs con el mismo GAC ha sido efectiva en meses. En la Universidad de Iowa se ha determinado que las resinas carbonosas son muy efectivas en la adsorción de cloroformo.

II.- Prevención de la formación de THMs por remoción de precursores antes de la cloración.

Cuando el cloro se agrega a los abastecimientos de agua potable en concentraciones requeridas para desinfección, puede reaccionar con los contenidos orgánicos del agua y producir una variedad de trihalometanos, siendo el más abundante el cloroformo. Uno de los caminos para reducir la producción de THMs, quizá el más práctico, es la remoción de los precursores antes de la cloración. También el uso de carbón granular activado (GAC) ha resultado ser un buen removedor de precursores.

Los procesos de clarificación del agua: coagulación, sedimentación y filtración, remueven cantidades importantes de algunos orgánicos, lo que es de esperar que éstos procesos remuevan los precursores.

Se han realizado múltiples investigaciones con diferentes resinas sintéticas comerciales para remover compuestos orgánicos del agua. Algunas de estas resinas han probado ser más eficaces que el carbón activado para quitar sustancias húmicas, aunque esto depende de la fuente del material húmico. Kolle ⁽²²⁾ investigó que la resina Stireno-divinylbenzeno (SDVB) de macroporo y base fuerte, resultó efectiva para la remoción de carbón orgánico total (TOC), cuando se aplicó en el tratamiento de agua subterránea de Hanover, Alemania Occidental. El Centro de Investigaciones del agua (Water Research Center: WRC) de Inglaterra, comparó la remoción de orgánicos con resinas sintéticas y con carbón activado en agua del Río Támesis, concluyendo que el carbón activado es más efectivo que las resinas. Las resinas son selectivas y la re

generación de ellas es el punto crucial para su aplicación confiable en las plantas de tratamiento. Aunque algunas de estas investigaciones han sido auspiciadas por la USEPA y AWWA, esto no ha constituido una recomendación de uso. (23)

Recientemente los investigadores Babcock y Singer (24) sugirieron que la remoción selectiva de precursores de THMs puede ser posible por coagulación, dependiendo del pH, del tipo y concentración de los compuestos orgánicos presentes en el abastecimiento de agua y de la dosis del coagulante, pues en múltiples -- investigaciones se ha detectado la reproducción de los ácidos -- húmico y fúlvico que contiene la materia orgánica en descomposición que arrastra el agua cruda.

En el Río Mississippi el proceso de coagulación a base de sulfato de aluminio como único coagulante y pH bajo, ha sido capaz de remover significativamente compuestos orgánicos hasta en un -- 65% (25)

En el abastecimiento del condado de Contra Costa (24) se experimentó con coagulantes de Al III y Fe III, deduciéndose que la coagulación ofrece ventajas importantes de reducción de costos cuando los niveles de carbón orgánico total [TOC] son del orden -- de 2 mg/l.

Estudios numerosos de laboratorio muestran que la coagulación es capaz de remover hasta un 90% de ácido húmico y un 60 % de ácido fúlvico.

En la planta de tratamiento Kralingen alimentada por el Río Meuse, Rotterdam, Holanda, (26) una coagulación convencional -- con resinas de base débil y macroporo, efectuó la remoción de sustancias húmicas a las aguas naturales antes de la cloración, reduciendo en un 65% la formación de trihalometanos.

III.- Sustitución del cloro por otros desinfectantes que no forman THMs.

Por el descubrimiento de que al clorar el agua cruda se forman trihalometanos y éstos son supuestamente carcinógenos al hombre, se han estudiado otros desinfectantes que minimizan o anulan

la formación de trihalometanos en tratamientos de agua, cuidando que sus dosificaciones no afecten la salud humana. Entre ellos se tienen el dióxido de cloro, las cloraminas y el ozono. La investigación sobre la toxicidad ⁽²⁷⁾ de los desinfectantes ha sido encausada principalmente al ClO_2 , por ser el que menos se ha experimentado en desinfección primaria de grandes demandas de agua. Así en recientes investigaciones se vio que el bióxido de cloro y sus productos de reacción inorgánicos (ClO_2^- , ClO_3^-) pueden representar un mayor riesgo de toxicidad que el mismo cloro. De tales estudios se concluyó que el dióxido de cloro puede usarse en dosificaciones no mayores de 1 mg/l. Bajo esta condición el dióxido de cloro se usa como desinfectante sustituto de la precloración en algunas plantas, pues además tiene otras ventajas como son: a) No pierde su efectividad oxidante en un amplio rango de pH, b) Destruye olores producidos por compuestos fenólicos, c) No reacciona con el amoníaco ni con otros compuestos nitrogenados, d) Es un buen alguicida y finalmente la USEPA reporta que el ClO_2 reduce la formación de trihalometanos.

El dióxido de cloro ha sustituido a la cloración en plantas importantes como la de Nueva Orleans ⁽⁷⁾ en el Río Mississippi, donde este cambio redujo la formación de THMs en 59 %. También en Peoria, Ill., la precloración se cambió por ClO_2 residual disminuyéndose la formación de trihalometanos hasta en un 90 %.

El sistema de Nevada del Sur ⁽²⁴⁾ abastece el 60% del Valle de las Vegas con aguas del Lago Mead, surtido por el Río Colorado. En estudios recientes se analizaron métodos alternativos para la prevención o eliminación de Trihalometanos totales concluyéndose que el dióxido de cloro ya sea usado en desinfección periódica o continua, es mucho más efectivo y económico que el carbón orgánico activado.

La planta de Louisville, Ky., toma agua del Río Ohio. En investigaciones realizadas en la primavera de 1979, ⁽¹⁹⁾ se determinó que el ClO_2 puede considerarse efectivo para aplicarse en ampliaciones futuras cuando el nivel requerido de THMs sea menor de 25 $\mu\text{g/l}$.

El uso de las cloraminas como desinfectante es de particular interés en el tratamiento para agua potable, porque no forman compuestos organo clorados sospechosos de ser dañinos a la salud humana; además, su efecto residual a través del sistema de distribución es más prolongado que el del cloro.

En Huron, Sud Dakota, ⁽¹⁷⁾ modificaron los procesos de tratamiento para agua potable al encontrarse muy altas concentraciones de cloroformo (hasta 309 µg/l) y de bromodichloroetano (hasta 116 µg/l). La alternativa puesta en práctica fue cambiar las dosificaciones de cloro por cloraminas (aplicando sulfato de amonio). La formación de THMs se redujo en un promedio de 75 % en la toma del consumidor.

En el Río Mississippi, el Departamento de Agua de Jefferson Parish, La., ⁽¹⁷⁾ realizó estudios simultáneos del uso de cloraminas para desinfección del agua potable y reducción de trihalometanos, deduciéndose que cuando se aplicaron dosis apropiadas de cloraminas (en éste caso 1.5 a 1.8 mg/l con 10 minutos de contacto o menos), la mortandad fue del 100 % en especies de bacterias patógenas como E. Coli, A. aerógenes, Shigella dysenteriae y otras; además de que el uso de las cloraminas previene efectivamente la formación de THMs.

En el corazón del Valle de Delaware, la compañía de agua Suburbana de Filadelfia (PSWC), abastece un área de 736 km² con una población aproximada de 850,000 habitantes. Esta compañía en su planta de Pickering Creek, ha usado cloraminas por mas de 50 años, con excelentes resultados bactericidas. Investigaciones de la EPA y estudios de la PSWC, demuestran que el tratamiento con cloraminas disminuye notablemente la presencia de trihalometanos.

El ozono es un desinfectante muy efectivo que no da lugar a la formación de Trihalometanos. De investigaciones realizadas en una planta piloto instalada en 1977 por el Departamento de Agua y Fuerza de los Angeles, Calif., ⁽¹¹⁾ se dedujo que el uso del ozono es efectivo en la remoción de precursores y se determinó que la ozonización del agua cruda previa a los pasos de cloración antes del proceso directo de filtración, reduce la concentración de cloroformo. También el proceso de filtración directa pre

cedido por un tratamiento de carbón activado disminuye a un nivel mínimo la detección analítica de THMs. Una técnica prometedora para disminuir los precursores es la combinación de ozonización y adsorción inmediata con carbón granular activado. Symons ⁽²⁹⁾ -- estudió este proceso por indicaciones de la EPA municipal de Cincinnati.

Otra alternativa para reducir THMs en el agua potable es el uso de permanganato de potasio, como se hace en el sistema de filtración del Río Mianus, Conn., ⁽⁷⁾ en donde la precloración se suspendió cuando empezó a utilizarse el $KMnO_4$. La dosis de cloro de 1 mg/l se reemplazó con una de 0.4 mg/l de $KMnO_4$, reduciéndose la presencia de trihalometanos en un 76 %.

Otro método para reducir trihalometanos es el de cambiar el punto de cloración en la planta de tratamiento. Esta simple pero efectiva alternativa fue puesta en práctica en la ciudad de Bristol en donde el punto de cloración fue movido del efluente de la planta a los tanques de sedimentación, disminuyéndose además la alimentación ⁽⁷⁾ de 5.5 mg/l a 2.4 mg/l y lográndose la reducción de los trihalometanos en un 76 %. Sin embargo esta alternativa no surtió efectos importantes en el Distrito Metropolitano del Sur de California. ⁽³⁰⁾

En estudios realizados en Huron S.D., ⁽¹⁷⁾ la National Organics Reconnaissance Survey (NORS) obtuvo una comparación de costos estimados para varias alternativas de desinfección basadas en un gasto de 19 ML/día (5-mgd). (Revista AWWA, marzo 1980: "The use of Chloramines to Prevent Trihalomethane Formation").

COSTO \$/1000 galones

ALTERNATIVA	OPERACION	CAPITAL	TOTAL
CLORO (2 mg/l)	0.56	0.88	1.44
OZONO (1 mg/l)	1.05	1.36	2.41
DIOXIDO DE CLORO (1 mg/l)	1.18	0.76	1.90
CLORAMINAS (3 mg/l)	0.78	0.89	1.67

El símbolo se refiere a centavo de dolar norteamericano
En México el tipo de cambio está alrededor de un dolar por - - -
\$ 24.50 M.N.

La EPA seleccionó algunos sistemas de tratamiento y por medio de computadora analizó costos unitarios de capital inicial, gastos anuales de mantenimiento y operación así como costos anuales per cápita. (Revista AWWA, Vol. 73, No. 1, enero de 1981: - "Controlling Trihalomethanes while Attaining Desinfection").

RANGO DE HABITANTES SERVIDOS POR
EL SISTEMA

CONCEPTO	10,000 - 25,000	25,000 - 50,000	50,000 - 75,000	75,000 - 100,000
OZONO				
Capital inicial	\$341,000	\$625,000	\$1,080,000	\$1,471,000
Gasto anual de Op.y M.	17,000	27,000	44,000	60,000
Costo anual per cápita	3.00	2.40	2.40	2.30
DIOXIDO DE CLORO				
Capital inicial	\$ 30,000	\$ 31,000	\$ 34,000	\$ 38,000
Gasto anual de Op.y M.	17,000	26,000	41,000	56,000
Costo anual per cápita	1.20	0.80	0.70	0.60
CLORAMINAS				
Capital inicial	\$ 12,000	\$ 15,000	\$ 19,000	\$ 22,000
Gasto anual de Op.y M.	4,000	8,000	13,000	18,000
Costo anual per cápita	0.30	0.20	0.20	0.20
GAC				
Capital inicial	\$435,000	\$760,000	\$1,264,000	\$1,733,000
Gasto anual de Op.y M.	20,000	36,000	63,000	90,000
Costo anual per cápita	3.70	3.10	3.00	2.90
GAC y OZONO				
Capital inicial	\$760,000	\$1,357,000	\$2,299,000	\$3,141,000
Gasto anual de Op.y M.	29,000	48,000	79,000	104,000
Costo anual per cápita	6.20	5.00	5.00	4.50

RANGO DE HABITANTES SERVIDOS POR
EL SISTEMA

CONCEPTO.	100,000 - 1,000,000	mas de 1,000,000
OZONO		
Capital inicial	\$2,729,000	\$7,161,000
Gasto anual de Op. y M.	148,000	943,000
Costo anual per cápita	1.60	1.40
DIOXIDO DE CLORO		
Capital inicial	\$ 76,000	\$ 362,000
Gasto anual de Op. y M.	148,000	680,000
Costo anual per cápita	0.60	0.60
CLORAMINAS		
Capital inicial	\$ 31,000	\$ 61,000
Gasto anual de Op. y M.	51,000	253,000
Costo anual per cápita	0.20	0.20
GAC		
Capital inicial	\$5,240,000	\$21,063,000
Gasto anual de Op. y M.	269,000	756,000
costo anual per cápita	3.00	2.40
GAC y OZONO		
Capital inicial	\$7,753,000	\$27,259,000
Gasto anual de Op. y M.	307,000	1,107,000
Costo anual per cápita	4.20	3.20

NOTA: Los costos son en dólares de U.S. para el año de 1980.
GAC significa carbón granulado activado.

Los estudios de costos unitarios de la NORS y la EPA, fueron analizados considerando parámetros diferentes y como era de esperarse, en ambos, la desinfección - con cloro resultó la más económica.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En la actualidad, la desinfección del agua es indispensable para evitar enfermedades especialmente entéricas, que pueden incluso desatar epidemias que diezmen a la población.

Sin perder de vista el aspecto socio-económico, deben cubrirse todos los requisitos que definen los caracteres físicos, químicos y bacteriológicos del concepto moderno de agua potable.

En este trabajo se plantea que son muchos los métodos para desinfectar el agua, pero no todos cubren los caracteres -- mencionados anteriormente.

De todos los métodos aplicados a la fecha, el más económico y práctico es el de cloración con residuo libre, pero los últimos descubrimientos referentes a los daños potenciales de la salud humana por la posible contaminación inherente a la cloración: formación de trihalometanos, deben ser incentivos que promuevan posibles cambios en los métodos de desinfección del agua actualmente instituidos.

En E.U.A., el descubrimiento de los trihalometanos, empezó a despertar conciencia al respecto, impulsando modificaciones en sus normas sanitarias. Así el 24 de junio de 1978, la USEPA determinó una lista para niveles máximos permisibles de contaminación de seis plaguicidas que pueden presentarse en el agua potable y el 29 de noviembre de 1979 recomendó el nivel máximo permisible de contaminación para trihalometanos totales en el agua.

En México, el reglamento federal sobre obras de provisión de agua potable se publicó en el diario oficial del 2 de julio de 1953. Fue expedido a propuesta del Consejo de Salubridad General de la Secretaría de Salubridad y Asistencia y de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Este reglamento lleva 28 años de vigencia sin modificación aparente alguna, por eso ya resulta incompleto y obsoleto en muchas de sus partes; v.gr. no toma en cuenta los niveles máximos permisibles de contaminación de plaguicidas orgánicos, de materiales radioactivos ni de trihalometanos.

Se recomienda que las oficinas gubernamentales correspondientes se avoquen a la actualización del reglamento mencionado en sus normas y métodos que regulan la calidad del agua. Que también planeen y programen a corto, mediano y largo plazos, la modernización de las plantas existentes y la construcción de las futuras, para cubrir las necesidades sanitarias que la época reclama. Para ello será menester investigaciones no sólo de caracteres físicos, químicos y bacteriológicos, sino también farmacológicos (en particular carcinogénesis química) a nivel nacional, apoyándose en monitoreos, tanto de aguas crudas de fuentes de abastecimiento, como de aguas a la salida de las plantas de tratamiento y de las tomas de los usuarios. Las conclusiones generales y particulares que resulten, serían determinantes para tomar decisiones respecto de si la salud pública no peligraría siguiendo los métodos acostumbrados de cloración con residuo libre o -- cambiarlos por otras técnicas.

Al parecer existe un divorcio científico entre los organismos estatales responsables de la salud pública y las instituciones de Educación Superior, como la Universidad Nacional Autónoma de México, lo que disminuye la capacidad en el campo de la investigación en perjuicio de una superación tecnológica, es éste caso, el perfeccionamiento de los métodos de potabilización del agua.

Se recomienda un acercamiento entre las autoridades sanitarias y las Escuelas de Educación Superior para coadyuvar a un rápido y eficiente enriquecimiento tecnológico que redunde en beneficio de nuestra Patria.

REFERENCIAS

- (1) Aceves García, Victor. "El agua, cuna y tumba de la humanidad".
- (2) Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente. Ecología y Salud.
- (3) Pelczar, Michael y Roger D. Microbiología.
- (4) Fair, Gordon, et al. Gordon, et al. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Vol. 2
- (5) Salcedo, Natalia. Apuntes de la asignatura. Microbiología sanitaria.
- (6) Robson C., Michael. "Ozone's Many Applications Expands Its Image".
- (7) Stevens, A. y James M. Symons. "Measurement of Trihalomethane and Precursor Concentration Changes".
- (8) Weber, Walter J. Jr. Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos.
- (9) Sletten, Owen. "Halogens and Their Role in Disinfection".
- (10) Kazuyoshik, et. al. "The Search for Effective Wastewater - Disinfectants".
- (11) Cotruvo, J.A. y Chieh Wu. "Controlling Organics: Why Now"?
- (12) Bull, R.J. "Health Effects of Alternate Disinfectants and Their Reaction Products".
- (13) Blanck, Clarence A. "Trihalomethane Reduction in Operating Water Treatment Plants".
- (14) Trussel R.R. y Mark D.U. "The Formation of Trihalomethanes".
- (15) Trihalomethanes in drinking water. A guide-answers to your concerns and questions about THMs.
- (16) Arguello, M., et al. "Trihalomethanes in Water; a Report on the Occurrence, Seasonal Variation in Concentrations and Precursors of Trihalomethanes".
- (17) Norman, Thomas, et al. "The Use of Chloramines to Prevent Trihalomethane Formation in Huron, S.D. Drinking Water".
- (18) Duke, Donald T., et al. "Control of Trihalomethanes in drinking water".

- (19) Vogt, Craig y Stig Regli. "Controlling Trihalomethane While Attaining Disinfection".
- (20) Bellar, T., et al. "The Occurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Waters".
- (21) Trussel, A.R. y Mark D.U. "An Overview of the Analysis of Trace Organics in Water".
- (22) Chudyk, Wayne, et al. "Activated Carbon Versus Resin Adsorption of 2-Methylisoborneol and Chloroform".
- (23) Boening, P., et al. "Activated Carbon Versus Resin Adsorption of Humic Substances".
- (24) Kavanaugh M.C. "Modified Coagulation for Improved Removal of Trihalomethane Precursors".
- (25) Semmens, Michael J., et al. "Coagulation: Experiences in Organics Removal".
- (26) Rook, John y Evans Sheldon. "Removal of Trihalomethane Precursors from Surface Waters Using Weak Base Resins".
- (27) Bull, R.J. Op cit.
- (28) Monsewitz, et al. "A pilot Study of Chlorine Dioxide Use - to Reduce Total Trihalomethanes".
- (29) Rice, Rip G., et al. "Uses of Ozone in Drinking Water Treatment".
- (30) Cohen, R.S., et al. "The Metropolitan Water District of Southern California Experience".
- (31) Hubbs, Stephen A., et al. "Use of Chlorine Dioxide, Chloramines, and Short-Term Free Chlorination as Alternative Disinfectants".



DEPEI

B I B L I O G R A F I A

REVISTAS.

- Arguello, M., et al. "Trihalomethanes in Water: a Report on the Occurrence, Seasonal Variation in Concentrations and Precursors of Trihalomethanes". Jour. AWWA. Vol. 71, No. 9 Denver, Co., sept. 1979. pp. 504-508.
- Augenstein, H. "Use of Chlorine Dioxide to Desinfect Water Supplies" Jour. AWWA. Nueva York., dic. 1974. pp. 716-717.
- Barnett R.H. y Albert R.T. "Controlling Organics: The Casitas Municipal Water District Experience (Q)". J. AWWA. Vol. 70 No. 11 Denver Co., Nov. 1978. pp. 660-664.
- Bellar, T., et al. "The Ocurrance of Organohalides in Chlorinated Drinking Waters". Jour. AWWA. Nueva York., dic. 1974. pp. 703-706
- Blanck, Clarence A. "Trihalomethane Reduction in Operating Water Treatment Plants". Jour AWWA. Vol. 71, No. 9 Denver, Co. sept. 1979. pp. 525-528
- Boening, P., et al. "Activated Carbon Versus Resin Adsorption of -- Humic Substances". Jour. AWWA. Vol. 72, No. 1 Denver, Co. Ene-1980. pp. 54-59.
- Brett, Robert y Richard Corveley. "A One Year Survey of Changes in Trihaomethane Concentrations Within a Distribution System". Jour. AWWA. Vol. 71, No. 9 Denver, Co., sept. 1979 pp. 509-515.
- Brodman, N. V. Jr. y Peter J. Russo. "The Use of Chloramine for Reduction of Trihalomethanes and Disinfection of Drinking Water". Jour. AWWA. Vol. 71. No. 1 Denver, Co., - Enero 1979. pp. 40-42.
- Bull, R.J. "Health Effects of Alternate Disinfectants and Their Reaction Products" Jour. AWWA. Vol. 72, No. 5 Denver Co. Mayo 1979. pp. 299-303.
- Burnham, A., et al. "Trace of Organics in Water: Their and Identification". Jour. AWWA. Vol. 65, No. 11 Nueva York, Nov. 1973. pp. 722-725
- Carns K.E. y Karl B.S.. "Controlling Organics: The East Bay Municipal Utility District Experience (Q)". Jour. AWWA -- Vol. 70, No. 11 Denver, Co., Nov. 1978. pp. 637-644
- Cohen R.S., et al. "The Metropolitan Water District of Southern California Experience (Q)". Jour AWWA. Vol. 70, No. 11 Denver, Co., Nov. 1978. pp. 647-652.

- Cotruvo J.A. y Chieh Wu. "Controlling Organics: Why Now? (Q)" -- J. AWWA. Vol. 70 No. 11 Denver, Co., Nov. 1978. pp. 590-594.
- Chdyk, Wayne., et. al. "Activated Carbon Versus Resin Adsorption of 2-Methylisoborneol and Chloroform". Jour AWWA. Vol. 71, No. 9 Denver, Co., Sept. 1979. pp. 529-538
- Duke Donald T. et al. "Control of trihalomethanes in drinking water" Jour AWWA. Vol. 72 No. 8 Denver, Co., Agosto 1980. pp. 470-476.
- Glaze, William y Richard Rawley. "A Preliminary Survey of Trihalomethane Levels in Selected East Texas Water Supplies" Jour AWWA. Vol. 71, No. 9 Denver, Co., sept. 1979. pp. 509-515.
- Hoehn, Robert, et al "Algae as Sources of Trihalomethane Precursors" Jour AWWA. Vol. 72, No. 6 Denver, Co., Junio 1980 pp. 344-350
- Hoff, John C. y Stig Regli. "A Comparison of the Biocidal Efficiency of Alternative Disinfectants". J. AWWA. Vol. 73 No. 1 Denver, Co., Enero 1981. pp. 40-44.
- Hubbs Stephen A., et al. "Use of Chlorine Dioxide, Chloramines, and Short-Term Free Chlorination as Alternative Disinfectants" J. AWWA. Vol. 73, No. 2 Denver, Co., Feb. 1981. pp. 97-101
- Katzenelson E. et al. "Inactivation Kinetics of Viruses and Bacteria in Water by Use of Ozone" Jour. AWWA. Nueva York, N.Y., Dic. 1974. pp. 725-729.
- Kavanaugh M.C. "Modified Coagulation for Improved Removal of Trihalomethane Precursors (Q)." J. AWWA. Vol. 70, No. 11 Denver, Co., Nov. 1978 pp. 613-620.
- Kenneth, E. Shull. "Experience With Chloramines as Primary Disinfectants". J. AWWA. Vol. 73 No. 2 Denver, Co., Feb. -- 1981. pp. 101-104.
- Lange A.L. y Elizabeth K. "Controlling Organics: The Contra Costa Country Water District Experience (Q)". J. AWWA. Vol. 70, No. 11 Denver, Co., Nov. 1978. pp. 653-660.
- Mc. Bride D.G. "Controlling Organics: The Los Angeles Department of Water and Power Experience (Q)". J. AWWA. Vol. 70, No. 11. Denver, Co., Nov. 1978. pp. 644-646.
- Mc. Guire M. J. e Irving H.S. "Adsorption of Organics From Domestic Water Supplies (Q)". J. AWWA. Vol. 70, No. 11 Denver, Co. Nov. 1978. pp. 621-636.
- Monsevizt, et al. "A Pilot Study of Chlorine Dioxide Use to Reduce Total Trihalomethanes". J. AWWA. Vol. 73, No. 2 Denver, Co., Feb. 1981 pp. 94-96.

- Moore, G.S. et al. "A Statistical Model for Preceding Chloroform Levels in Chlorinated Surface Water Supplies". J. AWWA. Vol. 71, No. 1. Denver, Co., Ene. 1979. pp. 37-39.
- Nelson, Stephen y Safy Khalifa. "Trihalomethane Levels in Public Water Supplies Drawn From the Sacramento River System" Jour. AWWA. Vol. 72, No.7 Denver, Co., Jul. 1980 pp. 423-426.
- Norman, Thomas., et al. "The Use of Chloramines to Prevent Trihalomethane Formation in Huron, S.D. Drinking Water". -- Jour AWWA. Vol. 72, No. 3 Denver, Co., Mar. 1980. pp. 176-180.
- Quinn James, E. et al. "Removal of total Organic Halogen by Granular Activated Carbon Adsorbers". Jour AWWA. Vol. 72, No. 8. Denver, Co., Agosto 1980. pp. 483-488.
- Rice, Rip G., et al. "Uses of Ozone in Drinking Water Treatment". J. AWWA. Vol. 73, No. 1 Denver, Co., Enero 1981. pp. 44-57.
- Rook, John y Evans Sheldon. "Removal of Trihalomethane Precursors from Surface Waters Using Weak Base Resins". Jour. AWWA. Vol. 71 No. 9. Denver, Co., Sept. 1979. pp. 520-524.
- Schreiber, Judiths. "The Occurrence of Trihalomethanes in Public Water Supply Systems in New York State". J. AWWA. Vol. 73, No. 3. Denver, Co., Marzo 1981. pp. 154-159.
- Semmens Michael J. et al. "Coagulation: Experiences in Organics-Removal". Jour AWWA. Vol. 72 No. 8. Denver, Co., -- Agosto 1980. pp. 476-483.
- Sletten, Owen. "Halogens and Their Role in Disinfection". Jour, AWWA. Nueva York, N.Y., Dic. 1974 pp. 690-692.
- Stevens A. y James M. Symons. "Measurement of Trihalomethane and Precursor Concentration Changes". Jour. AWWA. Vol. 69, No. 10. Nueva York, N.Y., Oct. 1977 pp. 546-554.
- Suffet, Irwin H. "An Evaluation of Activated Carbon for Drinking Water Treatment: A Report from The National Academy of Science". Jour. AWWA. Vol. 72 No. 1, Denver, Co., -- Ene. 1980. pp.47-49.
- Tardiiff R.G. "Health Effects of Organics: Risk and Hazard Assessment of Ingested Chloroform". J. AWWA. Vol. 69 No.12 Nueva York, N.Y., Dic. 1977. pp. 658-661.
- Trussell A.R. y Mark D.U. "An Overview of the Analysis of Trace-Organics in Water (Q)". J. AWWA. Vol. 70 No. 11. Denver, Co., Nov. 1978. pp. 595-603.
- Trussell R.R. y Mark D.U. (Q). "The Formation of Trihalomethanes" J. AWWA. Vol. 70, No. 11 Denver, Co., Nov. 1978. pp.604-612.

- Vogt, Craig y Stig Regli. "Controlling Trihalomethane While - - Attaining Disinfection" J. AWWA. Vol. 73 No. 1. Denver Co., Ene. 1981 pp. 33-40.
- White, Clifford. "Disinfection: Present and Future" Jour, AWWA. Nueva York, N.Y., Dic. 1974. pp. 689-690.
- Kazuyoshik, et al. "The Search For Effective Waste Water Disinfectants". Water & Sewage Works. Reference Number 1979. Illinois, Abril 30, 1979. pp. 107-117.
- Lakshman Banglaore T. "Ground-water Organic/Inorganic Pollutant-Health Standards". Water & Sewage Works. Reference Number 1979. Illinois, abril 30, 1979. pp. 174-176.
- Robson C. Michael. "Ozone's Many Applications Expands Its Image". Water & Sewage Works. Reference Number 1979. Illinois, Abril 30, 1979. pp. 130-132.
- Serper Allen. "Cost Data For Water Treatment Ponds". Water & Sewage Works. Reference Number 1979. Illinois, Abril 30 1979. pp. 182.
- Sussman, S. y Williams J. Ward. "Chlorine Dioxide is an Attractive Treatment Alternative". Water & Sewage Works. Reference Number 1979. Illinois, Abril 30, 1979. pp. 120-127.

LIBROS:

- Culp, Gordon L. y Russell L. Culp. New concepts in water purification. USA, Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series, 1974.
- Fair, Gordon M. et al. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. México, ed. Limusa, 1976. Vol. 2.
- Hardenbergh, W. y Edward B. Rodie. Ingeniería sanitaria. México CECSA, 1979.
- Jolley, Robert L. et al. Water Chlorination Environmental Impact and Health Effects. Volumen 3. E.U.A., Ann Arbor Science Publishers, Inc. 1980.
- Pelczar, Michael J. Jr. y Roger D. Reid. Microbiología. México, Mc. Graw-Hill, 1978.
- Sanks, Robert L. Water treatment plant design. E.U.A., Ann Arbor Science Publishers Inc., 1980.
- Sawyer, C. y Perry L. Mc. Carty. Chemistry for Sanitary Engineers. 2a. ed. USA. Mc. Graw-Hill, 1967.
- Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente. Ecología y Salud. México, edit. Tlaloc, 1974.

Weber, Walter J. Jr. Control de la calidad del agua. Procesos físico-químicos. España. edit. Reverté, 1979.

VARIOS.

Abstracts Health Effects of Drinking Water Disinfectants and Disinfectant By-Products. U.S. EPA Symposium. Abril 21-24, 1981.

Aceves García, Victor. "El agua, cuna y tumba de la humanidad". - Primer Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Guadalajara, Dic. 1978. Vol. 1. pp. 1-14.

Mendoza Gastón. Notas de la asignatura. "Operaciones unitarias en Ingeniería sanitaria". DEPFI, 1981.

México, Secretaría de Salubridad y Asistencia. Dirección de Ingeniería Sanitaria. Reglamento Federal sobre obras de -- provisión de agua potable. 2 de julio, 1953.

Salcedo Natalia. Apuntes de la asignatura. Microbiología Sanitaria. DEPFI, 1980.

Trihalomethanes in drinking water. A guide-answers to your concerns and questions about THMs. (Folleto). American Water Works Association, E.U.A., 1980 (c).