

*Higiene y Sanidad Ambiental*, **8**: 335-342 (2008)

## Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud

María Teresa OLMEDO SÁNCHEZ

Área Gestión Sanitaria Sur de Granada. Farmacéutica IISS. Granada. España. Correo-e: mtolmedo@terra.es

### RESUMEN

Se exponen los subproductos tanto mayoritarios como minoritarios de la cloración, las condiciones en las que tiene lugar su formación, así como las principales medidas preventivas a adoptar para el control de los mismos. Se detallan a continuación los principales efectos sobre la salud de estos subproductos, los límites y estándares legales sobre su concentración máxima en el agua de acuerdo con la legislación vigente. Por último se realiza una breve reseña acerca de la calidad de las aguas en España.

### SUBPRODUCTOS DE LA CLORACIÓN

La disponibilidad de agua “apta para el consumo” es una de las prioridades de toda sociedad humana. No sólo es importante la cantidad para cubrir las necesidades básicas, además el agua debe tener la calidad que garantice su inocuidad para la salud.

La desinfección del agua supuso un gran avance en Salud Pública a principios del siglo XX al eliminarse los microorganismos patógenos del agua causantes de las enfermedades infecciosas de transmisión hídrica. El cloro es el desinfectante más extendido, caracterizándose por su alta reactividad. Los principales compuestos de cloro utilizados son:

- Cloro gas
- Hipocloritos (sódico y cálcico)
- Dióxido de cloro
- Cloraminas.

El agua que va a ser sometida al proceso de desinfección, puede contener precursores orgánicos fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, que proceden de la degradación microbiana y química de carbohidratos y proteínas. Estos precursores reaccionan con el desinfectante, dando lugar a la aparición de una serie de sustancias indeseables, que en el caso de la desinfección por cloro se trata en general de compuestos orgánicos clorados, muchos de los cuales tienen comprobada su capacidad tóxica y/o mutagénica para el hombre.

De igual forma, la cloración de aguas con elevado contenido proteico, procedente de proliferaciones masivas de algas (eutrofización), también contribuye a la formación de estos subproductos de la desinfección.



Estos compuestos no deseados, sólo se forman si los precursores orgánicos y el Cloro Residual Libre (CRL) están presentes conjuntamente durante el tiempo suficiente. Una vez formados, es difícil eliminarlos del agua por ello es de suma importancia prevenir su formación.

Los *subproductos mayoritarios de la cloración* son:

- Trihalometanos
- Ácidos acéticos halogenados

**TRIHALOMETANOS**

A mediados de los años 70 varios químicos detectaron la presencia de cloroformo y de otros trihalometanos (THMs) en el agua potable. Se sugirió en principio que pudiera tratarse de contaminación industrial, más tarde se comprobó que el origen de estos compuestos se encontraba en la materia orgánica del agua y en el cloro empleado en el proceso de desinfección.

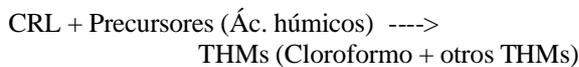
Los THMs son los subproductos de la cloración que se forman en mayor concentración. Por ello, se han utilizado tradicionalmente como indicadores de la concentración total de subproductos de la cloración. Como en la mayoría de los casos se producen conjuntamente, se consideran como un grupo denominado Trihalometanos Totales (THMsT). Este grupo está formado por el cloroformo (CHCl<sub>3</sub>), bromodichlorometano (CHBrCl<sub>2</sub>), dibromoclorometano (CHBr<sub>2</sub>Cl) y bromoformo (CHBr<sub>3</sub>).

Los valores de THMs en el agua clorada pueden variar de manera considerable en función del origen del agua. Así mismo, por la misma causa, los cuatro THMs se forman también en diferente proporción. Las aguas subterráneas, al tener una menor cantidad de precursores orgánicos y requerir una dosis inferior de cloro, darán lugar a concentraciones más reducidas de subproductos que las aguas superficiales. Así, los valores pueden oscilar desde menos de 10 µg/l en aguas cloradas de origen subterráneo a incluso más de 200 µg/l en aguas cloradas de origen superficial.

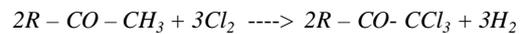


**Formación de trihalometanos**

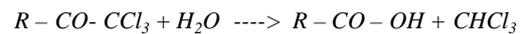
El proceso de formación de los THMs, durante la desinfección del agua con el cloro libre, obedece a un mecanismo complejo, por el cual las especies químicas que el halógeno forma con el agua, reaccionan con los derivados del humus que habitualmente se encuentran en ese medio:



Este proceso de formación de THMs se puede representar a través de la siguiente reacción:



y una hidrólisis posterior:



Se pueden establecer cuatro definiciones básicas para THMs:

1. THMs instantáneos: Es la concentración al momento de muestrear.
2. THMs final: Es la concentración final.
3. Formación potencial de THMs: Es determinada por la diferencia de la concentración instantánea de THMs y de la THMs final.
4. Potencia máxima total de THMs: Este valor representa el nivel de la concentración máximo de THMs bajo las condiciones más favorables para la formación de THMs.

**Factores que influyen en la formación y concentración de los trihalometanos**

La naturaleza y concentración de los halometanos formados parece depender de varios factores:

- La concentración de cloro: la concentración de cloroformo aumenta de forma directa con el residual del cloro.
- La naturaleza y la concentración de la materia orgánica: cuando en el agua existe gran cantidad de derivados del humus mayor será la probabilidad de formación de THMs.
- La concentración de bromo (Br) en el agua: el bromo es un constituyente natural del agua, reacciona con el cloro para formar ácido hipobromoso y a su vez éste con precursores orgánicos.
- La temperatura: manteniendo el pH y la dosis de cloro, al aumentar la temperatura mayor es la posibilidad de formación de cloroformo.

- pH: la formación de THMs es mayor al aumentar el valor del pH del agua, por la acción catalítica del haloformo.
- Tiempo de contacto del cloro: es necesario un tiempo mínimo de contacto de los precursores con el cloro.

Como consecuencia de estos factores, cabe esperar variaciones geográficas y estacionales de los niveles de halometanos en las aguas.

Se han realizado estudios acerca de la concentración de THMs en muestras de agua, observándose que dentro de un mismo abastecimiento cuanto mayor es la turbidez del agua, mayor es la concentración de THMs. También se encuentran variaciones estacionales en los niveles que están relacionados con la materia orgánica en suspensión que contiene el agua, este parámetro puede estimarse por el valor de la turbidez.



### ÁCIDOS ACÉTICOS HALOGENADOS

Los ácidos acéticos halogenados (HAA) forman un conjunto de nueve compuestos con diferente contenido de cloro y de bromo: ácido cloroacético, dicloroacético, tricloroacético, bromoacético, dibromoacético, tribromoacético, bromocloroacético, dibromocloroacético y bromodicloroacético.

Son los segundos subproductos de la cloración más abundantes después de los THMs. La concentración total de HAA en el agua clorada suele ser la mitad que la de THMs y no han sido investigados tan a fondo. Los HAA más abundantes son los que contienen dos átomos de cloro y/o bromo.

#### Factores que influyen en su formación

Se forman también a partir de la materia orgánica durante la cloración del agua.

Entre los factores que influyen en su formación el efecto que más ha sido estudiado, es el efecto del pH, observándose que al disminuir el pH la concentración de ácidos acéticos trihalogenados tiende a aumentar y la de ácidos acéticos dihalogenados permanece constante.

### SUBPRODUCTOS MINORITARIOS DE LA CLORACIÓN

Son subproductos de la cloración formados en concentraciones de pocos microgramos por litro:

Acetonitrilos halogenados

MX (mutágeno X)

Hidrato de cloral

Clorofenoles

Otros (haloacetonas, cloropicrina, cloruro y bromuro de cianógeno)

#### Acetonitrilos halogenados

Se han identificado como subproductos de la cloración de aguas superficiales y subterráneas.

Los precursores potenciales para la formación de estos compuestos durante la cloración son las algas, las sustancias húmicas y material proteínico, los cuales están presentes de forma natural en el agua.

El más abundante de los acetonitrilos es el dicloroacetoneitrilo.

#### MX (mutágeno X)

Con este nombre se conoce la 3-cloro-4-diclorometil-5-hidroxi-2(5H)-furanona.

Después de los THM es uno de los subproductos de la cloración más investigados. Fue detectado por primera vez en 1984 en emanaciones de fábricas de pulpa de papel blanqueada con cloro en Finlandia. Dos años después fue detectado en aguas de consumo.

Generalmente se encuentra en concentraciones muy bajas en aguas de consumo, pero tiene elevada actividad mutagénica en el test de Ames.

#### Hidrato de cloral

Es el tricloroacetaldehído. Se forma como subproducto de la reacción del cloro con sustancias húmicas.

#### Clorofenoles

Son subproductos de la reacción del cloro con compuestos fenólicos. Los tres clorofenoles más probables que pueden resultar de la cloración son: 2-clorofenol, 2,4-diclorofenol y 2,4,6-triclorofenol.

Son los causantes del "sabor y olor fenólico". A medida que aumenta el contenido en cloro, los sabores y olores también aumentan hasta un punto máximo, luego disminuyen hasta desaparecer totalmente cuando se agrega suficiente cloro y el tiempo de contacto es el adecuado para que las reacciones se completen. La intensidad de los olores varía con el tipo de compuesto. Estas reacciones, al igual que otras reacciones químicas, dependen de la concentración, tiempo, temperatura y pH.

## SUBPRODUCTOS CARACTERÍSTICOS DEL DIÓXIDO DE CLORO Y CLORAMINAS

El dióxido de cloro apenas reacciona con los precursores de los haloformos. Así, en presencia de sustancias húmicas, no da lugar a niveles significativos de THMs. Tampoco reacciona con el amoniaco para formar cloraminas.

Entre los productos de la reacción del dióxido de cloro con material orgánico se encuentran: clorofenoles, ácidos maléicos, fumáricos y oxálicos.

Durante el proceso de oxidación, el dióxido de cloro se reduce a ión clorito, que es el subproducto más característico de este compuesto de cloro. El ión clorito a su vez puede ser oxidado a clorato. Ambos, clorito y clorato pueden reaccionar con la hemoglobina de la sangre para formar metahemoglobina. Así mismo, pueden romper las células rojas de la sangre.

En cuanto a las cloraminas, el cloruro de cianógeno es el subproducto más importante. Esta sustancia es el resultado de las reacciones de precursores orgánicos con el ácido hipocloroso en presencia de ión amonio. Así, las concentraciones de cloruro de cianógeno son algo mayores para la cloraminación que para la cloración.

El cloruro de cianógeno, en el organismo humano se metaboliza rápidamente a cianuro, que es tóxico.

## CONTROL DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN

Al seleccionar el desinfectante para que el agua sea microbiológicamente segura, es importante ser conscientes de los subproductos de la desinfección y sus consecuencias para la salud. Por todo ello, es fundamental saber qué subproductos se forman, bajo qué condiciones, cuáles son los riesgos para la salud y cómo se pueden reducir.

Así, la OMS utiliza el enfoque riesgo-beneficio, en el que se valoran los agentes patógenos, los desinfectantes, los subproductos de la desinfección, la calidad del agua, el costo, etc., con el objeto de equilibrar las compensaciones entre los riesgos microbianos y los químicos, siempre y cuando no se vea comprometida la desinfección del agua.



Como estos subproductos (materiales orgánicos halogenados), son difíciles de eliminar una vez formados, debe evitarse su formación durante las

etapas de tratamiento del agua o al menos reducirlos al mínimo.

Así, en función de las características del agua se podrán adoptar las siguientes medidas preventivas:

- 1) Control de las fuentes de abastecimiento de agua para disminuir o eliminar los precursores, de esta forma las aguas subterráneas son preferibles a las superficiales.
- 2) Filtración del agua sobre carbón activo antes de la dosificación del cloro, con objeto de eliminar los precursores de los THMs, este procedimiento es muy eficaz pero tiene como inconveniente su elevado costo.
- 3) Evitar el uso del cloro gas o hipocloritos sustituyéndolos por ozono, dióxido de cloro o cloraminas, que no reaccionan con los precursores de los halometanos.
- 4) Cloración por etapas, evitando la presencia de cloro libre antes de la filtración. Las dosis empleadas en cada etapa no deben sobrepasar el punto de ruptura.
- 5) Limitar la presencia de precursores de los THMs en el agua antes de los tratamientos, mediante la limpieza frecuente de las instalaciones para la eliminación de algas, colocar las instalaciones al abrigo de la luz etc.
- 6) Eliminar el proceso de la precloración, como etapa inicial de los tratamientos.



Son de gran importancia las medidas 1) y 2) ya que de este modo se conseguirían los siguientes objetivos:

- Reducir la demanda de cloro.
- Se reducirían las cantidades de sustancias orgánicas oxidadas que pudieran formarse posteriormente en el proceso.
- Se reducirían los efectos perjudiciales sobre el agua tratada causados por los altos niveles de sustancias orgánicas y de cloro.

En la actualidad, como se puede observar en las fotografías anteriores, la mejora en los procesos de tratamiento tales como la coagulación, floculación, sedimentación, decantación, filtración, permiten la eliminación de la materia orgánica natural, evitando así su reacción con los desinfectantes para dar lugar a compuestos halogenados, de ahí la importancia de continuar trabajando en esta línea.

## EFFECTOS SOBRE LA SALUD DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN

Aunque los riesgos para la salud humana de los subproductos de la desinfección son pequeños si los comparamos con los riesgos asociados a las enfermedades de transmisión hídrica, no se deben obviar.

La exposición a estos contaminantes a través del agua clorada durante largos periodos de tiempo, da lugar a efectos adversos para la salud. Se debe tener en cuenta que la exposición a dichos agentes no ocurre sólo por la ingestión de agua, sino también por la inhalación y la absorción dérmica.

En general se pueden considerar:

- 1) Daño en las funciones reproductoras (disminución de la fertilidad, riesgo de aborto espontáneo, etc.).
- 2) Daños en el desarrollo fetal dentro del útero (defectos del tubo neural, bajo peso al nacer, crecimiento intrauterino retardado, etc.).
- 3) Desarrollo de cáncer, sobre todo en el de vejiga urinaria.

Los cánceres de colon y recto son los segundos más asociados a la exposición de los subproductos de la cloración. Otros cánceres, como el de esófago encuentran una asociación positiva, aunque estadísticamente sea menos significativa. El cáncer de mama también ha sido estudiado en relación con la exposición a agua clorada, pero los resultados de los estudios no son concordantes entre sí. Se ha evaluado la asociación entre el cáncer de riñón, hígado y pulmón con la exposición a agua clorada, pero los resultados no son estadísticamente significativos y no ponen de manifiesto una asociación clara entre exposición y efecto.

Revisando la literatura científica se puede afirmar que los dos principales grupos de efectos evaluados con relación a esta exposición ambiental, son el cáncer de diversos órganos fundamentalmente el de vejiga urinaria y defectos en neonatos de madres expuestas.

El cáncer de vejiga urinaria es el efecto del que existe más documentación. Se trata del cáncer más frecuente en España entre los varones.

La mayoría de los trabajos epidemiológicos evalúan la exposición de la población de estudio utilizando variables indirectas que se asocian con la concentración de subproductos de la cloración, como por ejemplo, el origen del agua (superficial frente a subterránea), el tipo de desinfectante empleado (cloro frente a cloramina), el tiempo de residencia o de consumo de agua clorada del grifo o cantidad de agua clorada del grifo consumida a diario.

Se ha observado el incremento del riesgo de padecer cáncer de vejiga urinaria al aumentar la concentración media de exposición a los THMs durante la vida, indicando una clara relación dosis-respuesta.

Los defectos en neonatos de madres expuestas también se han estudiado para evaluar su posible relación con la exposición a subproductos de la

cloración. Esta investigación epidemiológica es más reciente y se inició en la década de los noventa.

Los principales efectos investigados son: aborto espontáneo, bajo peso al nacer, crecimiento intrauterino retardado, talla pequeña al nacer y defectos del tubo neural.

También se ha investigado, aunque en menor medida, la asociación entre la exposición de madres embarazadas con muerte fetal tardía y determinadas malformaciones congénitas, como defectos respiratorios, cardíacos, defectos del tracto urinario, defectos del sistema nervioso central, ictericia al nacer, anomalías cromosómicas y muerte neonatal.

En la mayoría de los estudios se encuentra una asociación positiva entre estos efectos adversos y la exposición de la madre embarazada al agua clorada o a los subproductos de la cloración.

A continuación se detallan los efectos particulares de cada subproducto en animales de experimentación y su metabolismo.

### *1) Subproductos mayoritarios de la cloración*

#### *Trihalometanos*

Diferentes estudios han confirmado que los THMs pueden inducir tumores en los animales de laboratorio y todos, a excepción del cloroformo, tienen actividad mutagénica. También hay experiencias de laboratorio con roedores que han demostrado que el bromodichlorometano tiene una actividad espermatotóxica.

Aunque el mecanismo de acción sea diferente para cada THM, todos tienen en común la acción genotóxica de los metabolitos.

Los THMs se absorben fundamentalmente en el tracto gastrointestinal y el cloroformo también es absorbido por los pulmones.

Así mismo, por su elevada lipofilia, la acumulación de los THMs es mayor en los tejidos con alto contenido lipídico como la grasa corporal, también en el hígado y en los riñones. La excreción de los compuestos no metabolizados tiene lugar fundamentalmente a través del aire exhalado y una pequeña cantidad se excreta por la orina.

#### *Ácidos acéticos halogenados*

Los ácidos dicloroacético, tricloroacético, y los ácidos acéticos bromados son inductores de tumores en roedores de laboratorio. También se ha observado actividad espermatotóxica en los ácidos dicloroacético, y dibromoacético. El ácido tricloroacético ha demostrado ser teratógeno en experimentos con animales.

El metabolismo también es diferente para cada HAA. El ácido dicloroacético es absorbido con rapidez en el intestino y se metaboliza rápidamente. Sin embargo, el ácido tricloroacético se metaboliza en pequeña proporción y la mayoría del compuesto sin metabolizar se excreta por la orina.

## 2) Subproductos minoritarios de la cloración

### *Mutágeno X (MX)*

Induce tumores en animales de laboratorio. Estudios de farmacocinética de MX marcado radiactivamente ponen de manifiesto que se absorbe en el tracto intestinal en gran proporción y es excretado por la orina de forma rápida.

*Acetonitrilos halogenados, hidrato de cloral, haloacetonas, cloropicrina, cloruro y bromuro de cianógeno*

La mayor parte de estos compuestos tienen propiedades mutágenas y potencial cancerígeno en experimentos realizados con animales.

El hidrato de cloral presenta actividad espermatoxítica en roedores de laboratorio. Se absorbe con rapidez y se metaboliza a ácido tricloroacético o tricloroetanol. Los metabolitos se excretan fundamentalmente por la orina.

El dicloroacetnitrilo se absorbe en el tracto intestinal y es excretado en su mayor parte por la orina.

### LÍMITES Y ESTÁNDARES LEGALES SOBRE LA CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE ESTOS SUBPRODUCTOS EN EL AGUA

La Directiva Europea 98/83/CE, de 3 de Noviembre de 1998, planteaba que a los 5 años de su entrada en vigor el valor máximo admisible de THMs fuese de 150 µg/l y de 100 µg/l a los 10 años.

Esta Directiva exige la incorporación de la misma al derecho interno español. De este modo, a nivel nacional, se transpone en el Real Decreto 140/2003 de 7 de Febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. En éste se fija un contenido máximo para la suma de las concentraciones de THMs de 150 µg/l, que en 2009 pasarán a ser 100 µg/l.

### LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN ESPAÑA

España, es el segundo país de la Unión Europea después de Portugal, con las concentraciones más altas de THMs, según un informe de la Comisión Europea publicado en 1997. Se estima que cerca del 20% de la mortalidad por cáncer de vejiga en áreas españolas de exposición media-alta a THMs se puede atribuir a la exposición a subproductos de la cloración.

La Organización de Consumidores y Usuarios (OCU), en colaboración con el Instituto Nacional de Consumo, analizó en 2002, 100 muestras de agua de 88 ciudades españolas para comprobar la presencia de THMs, además de otros compuestos volátiles y herbicidas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 30% de las ciudades supera el nivel de THMs establecido por la Directiva comunitaria de aguas de consumo.

### ANEXO I del Real Decreto 140/2003. Parámetros y valores paramétricos.

- \* Para la suma de trihalometanos (THMs), se determinarán cuando se utilice el cloro o sus derivados en el proceso de desinfección.
  - Hasta el 31-12-2003 no se recoge ningún valor paramétrico.
  - De 01-01-2004 a 31-12-2008 el valor paramétrico es de 150 µg/l.
  - A partir del 01-01-2009 el valor paramétrico será de 100 µg/l.
- En los casos en que los niveles estén por encima del valor paramétrico, se determinarán: 2,4,6-triclorofenol u otros subproductos de la desinfección a la salida de la ETAP o depósito de cabecera.
- \* Cloritos, se determinarán a la salida de la ETAP o depósito de cabecera, si se utiliza el dióxido de cloro en el proceso de desinfección.
- \* Nitritos, se determinarán cuando se utilice la cloraminación como método de desinfección:
  - En la red de distribución, el valor paramétrico es de 0,5 mg/l.
  - En la salida de la ETAP/ depósito, el valor paramétrico es de 0,1 mg/l.

Dentro de España, hay variaciones geográficas: los niveles más altos de THMs se encuentran en la franja mediterránea y sureste con niveles medios que oscilan entre 50-80 µg/l.

Los niveles más bajos se localizan en Tenerife (donde el agua es de origen subterráneo) y Asturias, con 7 y 20 µg/l respectivamente.



Zonas industrializadas como Bilbao, Barcelona y sus alrededores, también tienen niveles altos de THM. Lo mismo ocurre en el sureste, Murcia y Alicante, donde el agua de partida es de peor calidad que en otras zonas.

Citando como ejemplo la Zona de Abastecimiento de Motril (Granada) donde la procedencia del agua es mayoritariamente superficial (Canal Cota 100, procedente del río Guadalfeo) sobre subterránea, en el período comprendido entre los años 2004 y 2005 (15 determinaciones), la suma de THMs tiene un valor medio de 68,93 µg/l oscilando los valores entre un mínimo de 15 y un máximo de 108 µg/l, en función de la captación utilizada mayoritariamente y la época del año.

La causa es muy sencilla: cuanto peor es el agua de partida y más materia orgánica arrastra, mayor es la demanda de cloro y mayor es la formación de THM.

Una solución que se está estudiando para mejorar la calidad del agua, es subir la captación de agua en origen, a zonas más altas con menos carga de materia orgánica o aguas de zonas menos industrializadas, de este modo se permitiría reducir hasta un 50% el nivel de THM.

#### ALTERNATIVAS AL TRATAMIENTO CON CLORO

El proceso de desinfección más extendido en España se caracteriza por el empleo de compuestos cloro como desinfectante. Este hecho, junto a la utilización de aguas superficiales de mala calidad que contienen concentraciones elevadas de carga orgánica, lleva a que se originen los subproductos de la desinfección.

Como alternativa, se podrían emplear desinfectantes clorados como el dióxido de cloro o cloraminas que generan menos subproductos. También se puede emplear ozono que es un potente oxidante. No obstante, al ser altamente reactivo, también genera subproductos orgánicos e inorgánicos.

Por lo tanto, una buena alternativa al tratamiento tradicional con cloro, debería combinar la eliminación previa de precursores orgánicos, con un desinfectante menos agresivo que el cloro.

No se debe obviar que todas las sustancias empleadas en el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano, deberán cumplir lo establecido en la ORDEN SCO 3719/2005, de 21 de Noviembre. En su Anexo II se hace referencia a las normas UNE-EN de sustancias utilizadas en el tratamiento del agua de consumo humano.

Por último, podemos concluir el presente estudio afirmando que:

Es importante llevar a cabo una gestión integral y racional del ciclo del agua, que permita que la calidad de las aguas en el punto de captación para su potabilización sea óptima.

En países desarrollados como es el caso de España, no se debería considerar que la desinfección y la minimización de los subproductos de la cloración sean objetivos opuestos.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. AAVV. *Estudio Sanitario del Agua*. Ed. Granada, Universidad, 1995, pp. 227-265.
2. ESPIGARES GARCÍA, M. Y PÉREZ LÓPEZ, J. A. *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada. 1985.
3. CATALÁN LAFUENTE, J.G. *Química del agua*. Madrid, Editorial Bellisco, 1990.
4. CHARLES N. HAAS, Ph. D. "Desinfección" en: *Calidad y Tratamiento del Agua. Manual de suministros de agua comunitaria*. American water works association. Madrid, 2002, pp.917-976.
5. MATÉS BARCO, J.M. *La conquista del agua. Historia económica del abastecimiento urbano*. Jaén, universidad, 1999., pp.442-451.
6. GOZALBES BOJA, J.A. *Las Aguas Potables en Andalucía. Recursos hídricos, tratamientos y control sanitario*. Ed. Junta de Andalucía. Consejería de Salud. Dirección General de Salud Pública y Consumo, 1994.
7. AAVV. *Manual de mantenimiento para abastecimiento de agua de consumo público*. Ed. Consejería de Sanidad y Servicios Sociales. Dirección General de Salud Pública. Comunidad de Madrid, Edición 09/98.
8. AAVV. *Programa de Vigilancia Sanitaria y Calidad del Agua de Consumo de Andalucía*. Ed. Junta de Andalucía. Consejería de Salud. Dirección General de Salud Pública y Participación, 2005.
9. AAVV. *Aguas Potables para Consumo Humano. Gestión y control de calidad*. Ed. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, 2005.
10. DATOS THM Zona Abastecimiento Motril (Granada), facilitados por el Gestor del Abastecimiento: "Aguas y Servicios de la Costa Tropical de Granada".
11. GRAY, N.F. *Calidad del agua potable. Problemas y soluciones*. Zaragoza, Ed. Acribia, 1996., pp. 108-113.
12. VILLANUEVA C.M., KOGEVINAS M., GRIMALT J.O. "Cloración del agua potable y efectos sobre la salud: revisión de estudios epidemiológicos". Institut Municipal d'Investigació Mèdica. Unitat de Recerca Respiratòria i Ambiental. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona. Departamento de Química Ambiental. Med Clin (Barc) 2001; 117: 27-35.
13. VILLANUEVA C.M., KOGEVINAS M., GRIMALT J.O. "Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga". Institut Municipal d'Investigació Mèdica. Unitat de Recerca Respiratòria i Ambiental. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIF). Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona.

- Departamento de Química Ambiental. *Gaceta sanitaria*, Barcelona enero 2001; v.15 n.01 p. 48-53.
14. Directiva relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. D. Nº 98/83/CE (Nov. 3, 1998).
  15. Real Decreto por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. R.D. Nº 140/2003 (Feb. 7, 2003). B.O.E. núm. 45, (Feb. 21, 2003).
  16. Orden SCO/3719/2005 sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano. (Nov. 21, 2005). B.O.E. núm. 287 Dic. 1, 2005).
  17. SARMIENTO A., ROJAS M., MEDINA E., OLIVET C., CASANOVA J. "Investigación de trihalometanos en agua potable de Estado Carabobo, Venezuela". Centro de Investigaciones Toxicológicas de la Universidad de Carabobo (CITUC). Valencia. Venezuela. Escuela de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Sanitaria. Valencia. Venezuela. *Gaceta Sanitaria*. Barcelona mar-abr.2003; v. 17 n.2.
  18. CALDERÓN J., CAPELL C., CENTRICH F., ARTAZCOZ L., GONZALEZ- CABRÉ M., VILLALBI J.R. "Subproductos halogenados de la cloración en el agua de consumo público". Institut Municipal de Salut Pública. Ajuntament de Barcelona. *Gaceta Sanitaria*. Barcelona maio-jun. 2002; v.16 n.3.
  19. AAVV. "Residuos de contaminantes orgánicos de diferentes orígenes en Navarra". *Anales del Sistema Sanitario de Navarra* v.28 n.2. Pamplona mayo-ago. 2005.
  20. REIFF F.M., WITT V.M. "Principios básicos de la desinfección del agua" en *Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y El Caribe*. Washington, D.C. 1995. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. Cyted. México. 2003.
  21. GARRIDO HOYOS S.E. "Consideraciones sobre los subproductos de la desinfección" en *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. Cyted. México. 2003.