



## **Subproductos de la desinfección en el agua potable y sus riesgos en la salud humana**

### **Disinfection byproducts in drinking water and human health risks**

Nunja García José Vicente<sup>1</sup>, Narvasta Torres Israel<sup>1</sup>, Luna García Gladys Marina<sup>2</sup>

#### **RESUMEN**

En este artículo se presentan los mecanismos y los factores que determinan la formación y la presencia de subproductos de la desinfección en el agua potable. Se discute igualmente los problemas de salud pública que estos subproductos pueden ocasionar y se presentan aspectos normativos para estos contaminantes y estrategias para limitar su presencia en el agua distribuida a la población. En conclusión esperamos que este modesto aporte, que es parte de los resultados de investigación, análisis y síntesis de información teórica, sea útil para avanzar en la delicada y urgente tarea de construir un marco de acción eficiente y conocer los usos de biocidas para la desinfección del agua potable.

**Palabras claves:** Agua Potable, Cloro, Desinfección, y Trihalometanos

#### **ABSTRACT**

In this article the mechanisms and factors that determine the formation and presence of disinfection byproducts in drinking water are presented. Public health problems that can cause these products is also discussed and regulatory issues for these pollutants and strategies to limit their presence in water distributed to the population are presented. In conclusion we hope that this modest contribution, which is part of the research results, theoretical analysis and synthesis of information, useful to advance the delicate and urgent task of building a framework for efficient action and know the uses of biocides for disinfection drinking water.

**Keywords:** Water, Chlorine, Disinfection, and trihalomethanes

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Química. vicentenunja@gmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Educación.

## **INTRODUCCION**

Desde la década de 1970, diversos estudios epidemiológicos han sugerido una asociación entre los contaminantes químicos con niveles superiores a los admisibles en el agua para consumo humano (ACH) y la mayor probabilidad de desarrollar algún tipo de cáncer.

Además, los niños menores de 2 años representan una subpoblación especialmente vulnerable a las sustancias carcinógenas, ya que su riesgo de desarrollar neoplasias malignas por esta causa es 10 veces mayor que el de los adultos y 3 veces mayor que el de los adolescentes de 3 a 15 años

El agua es un solvente excelente que puede contener en disolución un gran número de sustancias carcinógenas, como el arsénico, clasificado por la Agencia Internacional de Investigación sobre Cáncer como un posible carcinógeno para el ser humano y que podría estar asociado con el cáncer de piel, hígado, pulmón o vejiga.

Por otra parte, los subproductos resultantes de los tratamientos de desinfección del agua, generados por la reacción del desinfectante con la materia orgánica, son también contaminantes potenciales del ACH. El uso de cloro, uno de los desinfectantes más utilizados, produce trihalometanos (como el cloroformo y el bromodiclorometano), sustancias clasificadas entre las posibles causantes de leucemias.

El ACH también puede contener nitratos y nitritos, precursores endógenos de compuestos nitrogenados que pueden producir efectos adversos a la salud de los niños, incluido el cáncer de estómago y tumores cerebrales y del sistema nervioso. Otros compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos policíclicos y metales procedentes de diversas fuentes de contaminación, como la agricultura, los vertimientos industriales y la lixiviación de minerales, también contaminan las aguas subterráneas y se han asociado con las leucemias.

En este trabajo se evalúa, mediante una revisión sistemática, la asociación entre la exposición a los principales contaminantes químicos del ACH y el aumento de casos de cáncer en menores de 19 años.

## **DESINFECCIÓN DEL AGUA**

La desinfección del agua destinada al consumo humano ha sido la principal medida tomada para proveer protección frente a las diversas enfermedades infecciosas que pueden ser transmitidas por el agua. Desde la introducción de la desinfección del agua potable, se ha observado una reducción muy significativa en la incidencia de personas afectadas en todo el mundo por enfermedades que se transmiten por la ingestión de agua contaminada por microorganismos patógenos. Esta ingestión puede producirse de diversas maneras: directa, mediante la ingestión de agua, indirecta, debido a alimentos o bebidas que han estado en contacto o contienen agua contaminada o accidental, al producirse durante la natación u otras actividades recreativas.

Los desinfectantes más empleados son el cloro libre, las cloraminas, el dióxido de cloro y el ozono. De todos ellos, el cloro es considerado como el desinfectante químico universal porque es el más eficaz en relación a su capacidad desinfectante y a su coste. Además, su potencia oxidante favorece el control del sabor y el olor del agua, restringe el crecimiento de las algas, contribuye a la remoción del hierro y del

manganeso, a la destrucción del sulfuro de hidrógeno y además, tiene una persistencia mayor en los sistemas de distribución.

## **CLORO RESIDUAL: EFECTOS TÓXICOS**

Se presume que la toxicidad de las soluciones que contienen cloro, ácido hipocloroso o hipoclorito es similar, ya que estos compuestos están en equilibrio dinámico y debido a que las comparaciones de toxicidad pueden efectuarse en base a la medición de la concentración de cloro disponible.

El grupo de individuos de alto riesgo está constituido por los asmáticos o por aquellos que presentan reacciones alérgicas después de su exposición al cloro.

Los estudios de Watson y Kibler en 1933, Sheldon y Lovell en 1949, y Cohén en 1933 describen cuadros de precipitación de asma como resultado del consumo de agua clorada.

Muegge, en 1956, sintetiza los resultados de informes sobre los efectos negativos en la salud, de aguas altamente cloradas que han sido consumidas por periodos que comprenden desde algunos días a varias semanas, y que causaron algunos casos clínicos de toxicidad relacionados con el cloro, ácido hipocloroso o hipoclorito en el agua de bebida. Sin embargo, el autor presenta los datos en forma anecdótica y sin precisar lo concerniente a las pruebas efectuadas

## **DESCUBRIMIENTO DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN**

A mediados de los años 1970, Rook y Bellar observaron de forma independiente que el cloro reaccionaba con la materia orgánica presente en el agua para formar metanos trihalogenados.

En 1974, Rook descubrió en el agua de consumo de Rotterdam que el cloro libre cuando reaccionaba con la materia orgánica presente en el agua formaba una amplia gama de sustancias, a las cuales identificó como los primeros subproductos de la desinfección: el cloroformo y los otros tres trihalometanos.

En este mismo año, Bellar y colaboradores describieron la presencia de haluros orgánicos en el agua de consumo clorada. Al analizar el agua del río Ohio, que era usada para la producción de agua potable, descubrieron que el cloroformo se hallaba en concentraciones muy bajas, casi ausente en el agua del río, pero que posteriormente se encontraba en concentraciones mucho más altas en el agua que salía de las plantas de tratamiento; es decir, en aquellas aguas que habían sido sometidas al proceso de desinfección (Bellar et al., 1974).

## **SUBPRODUCTOS DERIVADOS DE LA CLORACIÓN DE LAS AGUAS.**

Al ser una sustancia tan activa, un exceso de cloro puede reaccionar con distintos compuestos orgánicos, por lo que aumenta el riesgo de que se produzcan Trihalometanos (THMs), que son com-puestos carcinógenos para el ser humano.

Los THMs se encuentran en el agua potable como resultado de la interacción del cloro con materia orgánica natural que se encuentra en el agua. Estos estarán presentes mientras el agua contenga cloro o hipoclorito, además de los precursores orgánicos..

Aparentemente, la existencia de riesgo en el consumo de agua clorada radica en la toxicidad indirecta de sus subproductos. Durante la cloración, se produce una serie de subproductos debido a la reacción del cloro con la materia orgánica presente (demanda de cloro). Los ácidos húmicos y fúlvicos, que se encuentran en el agua de algunos lugares, son producto de la degradación de materia vegetal, la cual en la mayoría de los casos, le confiere color al agua. Otros compuestos proceden de la degradación de material animal. Los derivados de la degradación vegetal y animal son compuestos activos que, al reaccionar con el cloro, dan como resultado compuestos orgánicos clorados, entre ellos los THMs.

Asimismo, al ser cloradas algunas aguas con cargas orgánicas elevadas por ejemplo, las aguas contaminadas con efluentes municipales forman subproductos como: cloro fenoles, ácido cloro acético, ácido dicloro acético, ácido tricloro acético, tricloro acetaldehído monohidratado, 1-1-dicloropropanona, dicloroacetanitrilo, dibromoacetanitrilo, tricloroacetanitrilo, cloruro de cianógeno, cloropicrin y bromato.

En el Cuadro N° 1 se muestran algunos compuestos que pueden formarse durante la cloración. Los trihalometanos (CHX<sub>3</sub>) han sido de los primeros compuestos descubiertos que se forman a consecuencia de la cloración de las aguas. Los THMs son triclorometano (cloroformo, CHCl<sub>3</sub>), bromodiclorometano (CHBrCl<sub>2</sub>), clorodibromometano (CHBr<sub>2</sub>Cl), y tribromometano (CHBr<sub>3</sub>).

A pesar de que estas sustancias consisten tanto en metanos clorados como bromados, las reacciones que se exponen a continuación tienen lugar entre el cloro y el metano. Estas sustancias se forman.

**CUADRO 1.**  
**COMPUESTOS FORMADOS**  
**DURANTE LA CLORACIÓN.**

<i>Benzaldehido</i>	<i>Cloropicrin</i>
<i>Benzilcianida</i>	<i>Dibromoacetanitrilo</i>
<i>Bromoetano</i>	<i>Dibromoiodometano</i>
<i>Bromobutano</i>	<i>Dibromometano</i>
<i>Bromocloroacetanitrilo</i>	<i>Ácido dicloroacético</i>
<i>Bromocloroiodometano</i>	<i>Dicloroacetanitrilo</i>
<i>Bromoclorometano</i>	<i>Diclorodibromometano</i>
<i>Bromocloropropano</i>	<i>1,2 - dicloroetano</i>
<i>Bromodiclorometano</i>	<i>Dicloroiodometano</i>
<i>Bromoformo</i>	<i>Diclorofenol</i>
<i>Bromopentacloroetano</i>	<i>Dicloropropano</i>
<i>Bromo propano</i>	<i>Hexacloroetano</i>
<i>Bromotricloroetileno</i>	<i>Hexacloropentadieno</i>
<i>Tetracloruro de carbono</i>	<i>p-hidroxibenzilcianida</i>
<i>Cloral</i>	<i>Iodoetano</i>
<i>Clorobutano</i>	<i>Metilbromodicloroacetato</i>
<i>Clorodibromometano</i>	<i>1,1,1 - tricloro acetanitrilo</i>

<i>Clorodimetano</i>	<i>Tricloro fenol</i>
----------------------	-----------------------

La concentración de THMs en las aguas superficiales durante el verano supera la concentración en invierno debido al aumento en la temperatura y la cantidad de materia orgánica presente. Las concentraciones de THMs en el agua superficial normalmente es mayor que la que se encuentra en las aguas subterráneas debido a la variación de materia orgánica presente en el agua.

Los THMs causan daños al hígado, riñones y sistema nervioso central. Son considerados cancerígenos. En los EEUU los estándares se han reducido a 80 µg/L, y la OMS considera los siguientes valores guía para los distintos tipos de THMs: Bromodiclorometano (BDCM), 60 µg/L; bromoformo, 100 µg/L; cloroformo, 200 µg/L.

Los ácidos haloacéticos (HAA) son subproductos de la cloración importantes. Consisten en tres átomos de hidrogeno fijados a un grupo COOH. Átomos de hidrógeno de los ácidos haloacéticos son reemplazados parcialmente por átomos de halógenos. Los HAA son compuestos no-volátiles que pueden encontrarse ocasionalmente en el agua en mayores concentraciones que los THMs en función del pH del agua. Cuando el pH es bajo, existe mayor formación de HAA que a mayores pH a los que se forma más THMs.

La composición de materia orgánica presente de manera natural también determina la concentración de HAA y THM. Al igual que los THM, las concentraciones de HAA en aguas superficiales en verano son mayores que en invierno, y la concentración de HAA en las aguas superficiales supera a aquella que está presente en las aguas subterráneas.

Los HAA aumentan el riesgo de cáncer por lo que la EPA en EEUU ha establecido como estándar 80 µg/L, mientras que la OMS no ha establecido nivel guía para los ácidos haloacéticos, Haloacetoneitrilos (HAN), haloaldehidos y halocelonas son subproductos de la desinfección que están presentes en menores cantidades que los THMs y HAA.

Los haloacetoneitrilos se forman durante la reacción entre el cloro y acetoneitrilo. Cuando el tiempo de reacción del desinfectante en el agua es bajo, estos subproductos de la desinfección se descomponen.

Tricloroacetaldehído y compuestos aldehidos brominados son el segundo grupo de subproductos de la desinfección imaginables.

Otros subproductos de la desinfección formados normalmente durante la dotación del agua son los halonitrometanos, halofenoles y halofuranos.

La presencia de compuestos halogenados (especialmente cloroformo y otros THMs) en el agua de consumo público suscita un interés creciente desde la perspectiva de la salud pública. La desinfección del agua mediante cloración es una práctica habitual. Ahora bien, en presencia de materia orgánica se producen THMs clorados, y en los últimos años se ha producido una acumulación de datos que evidencian que la exposición a THMs se asocia con un mayor riesgo de cáncer, sobre todo de vejiga, y a trastornos de la reproducción. De los cuatro THMs (cloroformo, bromodiclorometano, bromoformo y dibromoclorometano), Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer ha clasificado a los dos primeros como cancerígenos potenciales, considerando la información sobre el bromoformo y el dibromoclorometano insuficiente para evaluar su carcinogenicidad.

## **EFFECTOS ADVERSOS A LA SALUD RELACIONADOS CON LOS SUBPRODUCTOS DE DESINFECCION**

Más de tres décadas de investigaciones sugieren que existe un vínculo entre la cloración del agua y los efectos adversos a la salud humana. En 1976, el National Cancer Institute (Instituto Nacional del Cáncer) reportó acerca de los efectos carcinogénicos relacionados con beber agua clorada en el sistema digestivo y el sistema urinario. Este reporte incitó a la USEPA en 1979 a comenzar a reglamentar los trihalometanos (una clase primaria de SPDs) en el agua potable, enfocado en reducir la exposición a estos contaminantes a lo largo de la vida.

Esto incitó numerosos estudios epidemiológicos que mostraron asociaciones entre los niveles de SPDs en el agua potable y efectos adversos a la salud humana. Varios estudios mostraron un aumento en la incidencia de cáncer de la vejiga, mal partos, bebés que nacen muertos y defectos serios de nacimiento, mientras que otros no mostraron ninguna asociación, o mostraron asociaciones vagas o inconsistentes con efectos adversos a la salud humana.

Nadie sabe cuántos casos de cáncer de la vejiga o complicaciones de embarazo son causadas por los contaminantes presentes en el agua potable tratada. Sin embargo, la USEPA estima que más de 260 millones de individuos están expuestos a SPDs. En el 2009, se registraron 70,980 casos nuevos de cáncer de la vejiga (y 14,330 muertes) en los Estados Unidos. La USEPA ha proyectado que la reglamentación actual dirigida a reducir la exposición a SPDs a través del agua potable prevendrá aproximadamente 280 casos de cáncer de la vejiga cada año con una tasa de mortalidad del 26 por ciento. Solamente en base al cáncer de la vejiga, se espera un beneficio monetario de US\$1,500 millones, sin contar otros beneficios de embarazo y fetales que pudieran también ocurrir. De los seis millones de embarazos que ocurren en los Estados Unidos cada año, ocurren dos millones de pérdidas de embarazo, incluyendo 1.2 millones de abortos, 600,000 mal partos, 26,000 bebés que nacen muertos, y 70,000 pérdidas debidas a otras complicaciones que ocurren durante la gestación (es decir, embarazos ectópicos o molares). Por lo tanto, entre el 10 y el 16 por ciento de los embarazos resultan ya sea en un malparto o un bebé que nace muerto. La mayoría de los malpartos ocurren durante el primer trimestre de embarazo y se considera que son el resultado de causas naturales. Aunque se considera una parte natural del embarazo, la ocurrencia común también sugiere la posibilidad de una causa ambiental omnipresente. La importancia de la desinfección del agua radica en la eliminación de enfermedades transmitidas por la misma.

La Organización Mundial de la Salud estima que alrededor de 1.100 millones de personas, a nivel mundial, beben agua no apta para el consumo y que el 88% de las enfermedades diarreicas son atribuibles al agua no apta, así como a la falta de higiene y de sanidad (WHO, 2003); asimismo, se estima que el 80% de todas las enfermedades y más de un tercio de las muertes en los países en desarrollo son causadas por el consumo de agua contaminada. De acuerdo con la información disponible sobre los mayores factores de riesgo para la salud humana; el consumo de agua no apta, la sanidad precaria y la falta de higiene se encuentran en la tercera posición, siendo los dos factores de mayor riesgo la desnutrición y la práctica de relaciones sexuales sin medidas de seguridad. Las enfermedades transmitidas por el agua son la razón principal de que se desinfecten los sistemas de abastecimiento de agua potable. Estas enfermedades, que son causadas por la ingestión de agentes patógenos que se encuentran en el agua potable o en alimentos contaminados, están consideradas entre las enfermedades que producen los efectos más severos sobre la salud humana. La transmisión de enfermedades infecciosas y parasitarias, confirmada por estudios epidemiológicos y microbiológicos, incluye la hepatitis A y E, la gastroenteritis retroviral y la debida al virus Norwalk, el cólera, la fiebre tifoidea, la enteritis por *Campylobacter*, la shigelosis, infecciones por *Escherichia coli*, la enteritis por *Yersenia enterocolitica*, la criptosporidiosis, la giardiasis, la disentería amebiana y la dracontiasis. Ver tabla 1

**TABLA 1.**  
**TASAS MUNDIALES DE MORBILIDAD Y MORTALIDAD DE LAS PRINCIPALES**  
**ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA.**

<i>Enfermedades.</i>	<i>Número/Año</i>	
	<i>Casos de enfermedad</i>	<i>Defunción.</i>
Cólera (1993) <sup>a</sup>	297 000	4 971
Fiebre tifoidea	500 000	25 000
Giardiasis	500 000	Pocas

Amebiasis	48 000 000	110 000
Enfermedad diarreica (menos de 5 años)	1 600 000 000	3 200 000
Dracontiasis (enfermedad del gusano de Guinea)	2 600 000	—
Esquistosomiasis	200 000 000	200 000

Las cifras máximas para el cólera en 1991 fueron 595 000 casos y 19 295 defunciones.

Entre las enfermedades transmitidas por el agua, el grupo de las enfermedades diarreicas es la causa principal de mortalidad y morbilidad infantil en los países pobres y en desarrollo, pudiendo afectar también a otros grupos de edad. Se estima que del total de defunciones mundiales vinculadas con la diarrea, más del 90% ocurren en niños menores de cinco años. Las enfermedades diarreicas constituyen una de las amenazas más graves para la salud a la que se enfrenta la población infantil de América Latina y el Caribe. Este grupo de enfermedades se cuenta entre las cinco causas principales de muerte en los niños de menos de un año de edad y, en muchos casos, es la primera causa de muerte en los niños de uno a cuatro años.

La desinfección del agua, en la mayoría de los casos mediante la adición de cloro, ha supuesto la disminución de los índices de morbilidad y mortalidad de varias enfermedades, especialmente de aquellas cuya transmisión se produce por el agua contaminada o mal desinfectada. En 1991, Esrey analizó el impacto de mejorar la sanidad y el abastecimiento de agua sobre determinadas enfermedades (diarrea, dracontiasis, esquistosomiasis), observando que una o más mejoras (calidad del agua, higiene y sanidad) puede reducir substancialmente las tasas de morbilidad de estas enfermedades en TA un 26%, 77% y 78%, respectivamente. Además, la mejora de la calidad del agua de consumo conlleva una reducción de más de la mitad de la mortalidad infantil.

#### **MATERIALES Y METODOS:**

Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica recogida en las bases de datos

#### **FUENTES ELECTRONICAS**

Se buscaron los artículos publicados local nacional e internacional debidamente indexados en la última década. Como fuentes primarias. Se buscaron todos los artículos originales publicados en revistas arbitradas, cuya población de estudio incluyeron a niños, adolescentes y adultos y que trataran sobre agua contaminada por compuestos químicos y su relación con cualquier tipo de neoplasia maligna. No



se establecieron restricciones en cuanto al sexo de los participantes o el tipo de muestra.

La pertinencia de los artículos se evaluó de forma independiente por los investigadores. Y para dar por válida la selección de los artículos a considerar se estableció concordancia pertinente entre los investigadores. Si se cumpliera condiciones posibles de discrepancias se solucionarían mediante el consenso entre los autores.

El control de la calidad de la información se realizó mediante tablas de doble entrada que permitían la detección de los errores y su corrección mediante una nueva consulta de los originales.

Para la extracción de los datos, los estudios se agruparon por el tipo de contaminante químico presente en el ACH.

Los datos más relevantes de cada artículo fueron los siguientes: autores, año de publicación, diseño, forma de exposición, tipo de cáncer, población estudiada, período de seguimiento, lugar donde se efectuó la exposición y los principales resultados.

## RESULTADOS

De los artículos seleccionados, Ningún artículo se rechazó por causas metodológicas, todos los artículos seleccionados superaron los criterios propuestos para los estudios observacionales.

No fue necesario valorar la concordancia entre los autores, ya que la coincidencia sobre la pertinencia de los trabajos fue de 100%. Siendo la cronología de una década de la recopilación de los artículos para la investigación

La información sobre la población estudiada y el grado de exposición a los contaminantes fue muy heterogénea: mientras en unos estudios se precisaba bien la edad, el sexo, el tiempo de exposición y la dosis de exposición

Según la revisión documental de los diferentes artículos con respecto a los SPDs. son potencialmente más peligrosos para la salud humana, los cuales se pueden observar en el (Cuadro 2).

De acuerdo a la revisión documental de la literatura, el cáncer de la vejiga es uno de los más estudiados en relación con la exposición a los THM como se pueden observar los resultados obtenidos de varios estudios que han sido evaluados a la exposición de SPDs. (Cuadro 3).

## DISCUSIONES:

De la revisión realizada se desprende que una gran cantidad de sustancias químicas contaminantes y potencialmente tóxicas se encuentran dispersas en el medio ambiente y se ingieren con el agua. Asimismo, hay consenso en que los niños, desde el nacimiento hasta el final de la adolescencia, son más vulnerables a los contaminantes químicos que los adultos. Esta susceptibilidad durante la infancia (junto con la sensibilidad biológica como característica inherente al crecimiento) puede producir daños irreparables en el desarrollo de sistemas y órganos que pueden llevar a la discapacidad e incluso a la muerte en edades tempranas. Una cuestión todavía no resuelta es en qué medida los contaminantes químicos dispersos en el medio ambiente pueden estar contribuyendo al cambio de patrón en las enfermedades pediátricas.

Otro de los problemas detectados en la revisión es el uso del cloro como desinfectante del ACH. Si bien este método de desinfección soluciona un problema de contaminación biológica, los productos generados durante la desinfección con cloro pueden estar relacionados con la aparición de casos de cáncer de recto y de vejiga; no obstante, esa relación no ha sido estadísticamente significativa hasta el momento.

Al analizar la relación entre la contaminación del ACH y el aumento del número de casos de diferentes tipos de cáncer, se deben tener en cuenta también otras sustancias químicas que no son objeto de búsqueda activa y no se encuentran en las bibliotecas espectrales, o incluso pueden ser productos de la transformación de contaminantes originalmente introducidos en el medio ambiente.

*En vista de que es ampliamente reconocido el efecto de la desinfección del agua con cloro en condiciones normales, su aplicación es aún más necesaria en situaciones de emergencia, a fin de evitar la propagación de enfermedades gastrointestinales.*

*El nivel de riesgos para la salud humana resultante de la cloración del agua es difícil de determinar. Los estudios epidemiológicos hasta ahora realizados no son suficientes para poder distinguir entre el peligro de contraer cáncer por la cloración frente al alto riesgo por consumo de agua contaminada con microorganismos patógenos.*

*Aún se continúa investigando la asociación entre cloración del agua y casos de cáncer en humanos. Los experimentos efectuados en animales de laboratorio presentan resultados de difícil extrapolación para evaluar el riesgo en humanos.*

*Es necesario perfeccionar las técnicas de medición de los precursores y subproductos del cloro de una manera práctica y confiable que permita la caracterización de las fuentes de agua que se utilizaran para el abastecimiento.*

*Hasta la fecha, el cloro es el desinfectante de agua más económico, práctico y efectivo. Otros desinfectantes como el ozono, el dióxido de cloro y la monocloramina, son utilizados en algunas comunidades; si bien estos pueden evitar la formación de algunos subproductos de la cloración, no son capaces de mantener el efecto desinfectante posterior del cloro residual.*

Los niveles de cloro que se están aplicando para la desinfección de agua durante la emergencia del cólera (0.5 a 0.8 mg/L de cloro residual activo) no representan riesgo para la salud. Se debe anotar que en dosis mayores a 1.0 mg/L, el agua es rechazada por la mayoría de la población, por su asociación con productos blanqueadores a base de Cloro.

El mayor problema que se presenta en la formación de subproductos son los precursores orgánicos. La solución consiste en mejorar los procesos de tratamiento del agua para eliminar compuestos orgánicos antes de que los subproductos se formen.

#### **AGRADECIMIENTO:**

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos: Facultad de Farmacia y Bioquímica.  
EPS Emapa Huacho S.A.

**CUADRO N° 2.**  
**ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS QUE HAN EVALUADO**  
**EL RIESGO DE CÁNCER DE COLON Y RECTO POR EXPOSICIÓN A SPDS**

Fuente: Villanueva; et al; 2001a; USEPA, 2006

AUTOR	RESULTADOS
<i>Hildesheim et al., 1998.</i>	<i>Riesgo incrementado para el cáncer rectal asociado con la duración de la exposición a agua superficial clorada. El riesgo de cáncer rectal es estadísticamente significativo en exposiciones &gt; 60 años a THM en el agua clorada y en los individuos con una dieta baja en fibras. Los riesgos fueron los mismos para ambos sexos. No se observó ninguna asociación para las mediciones de la exposición a agua con el riesgo de cáncer de colon.</i>
<i>Yang et al., 1998.</i>	<i>Residir en municipalidades donde se clora el agua (vs. las que no clora) se asoció estadísticamente con el cáncer rectal (ambos sexos).</i>
<i>King et al., 2000.</i>	<i>El riesgo de cáncer de colon se asoció estadísticamente con la exposición crónica a THM, agua superficial clorada y consumo de agua (varones). No se observaron asociaciones entre las medidas de exposición y el cáncer rectal en ningunos de los dos sexos.</i>
<i>Vinceti et al., 2004.</i>	<i>Se vio un incremento pequeño pero estadísticamente significativo en la tasa de mortalidad de los cánceres de colon y recto para los varones que consumen agua con altos niveles de THM. En las mujeres, se detectó una mayor tasa de mortalidad sin alcanzar significación estadística.</i>
<i>Bove et al., 2007.</i>	<i>Localidades con altos niveles de bromoformo en el agua potable presentan un incremento en el riesgo de cáncer de recto.</i>
<i>Kuo et al., 2009.</i>	<i>Incremento estadísticamente no significativo en la tasa de riesgo de muerte por cáncer de colon asociado a los niveles de THM en agua potable.</i>
<i>Rahman et al. 2010.</i>	<i>Revisión bibliográfica de 13 estudios, evidencia limitada de una posible asociación entre el cáncer colon rectal y la exposición a SPD en agua potable. .</i>

### CUADRO Nº 3.

#### ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS QUE HAN EVALUADO EL RIESGO A CÁNCER A LA VEJIGA POR EXPOSICIÓN A SPD.

Cantor et al., 1998	Se encontró una asociación positiva y estadísticamente significativa entre el riesgo de cáncer de vejiga y la exposición a agua subterránea o superficial clorada para varones y para fumadores, pero ninguna asociación para los no fumadores (ambos sexos) o para las mujeres.
Koivusalo et al., 1998	La mutagenicidad del agua de consumo se asoció con un exceso de riesgo pequeño pero estadísticamente significativo entre la exposición y el cáncer de vejiga en los varones y una asociación débil en las mujeres.
Yang et al., 1998	Residir en municipalidades donde se clora el agua ( <b>vs.</b> las que no se clora) se asoció de manera estadísticamente significativa con el cáncer de vejiga (ambos sexos).
Villanueva et al., 2001b	Los niveles de THM en Tenerife y en Asturias corresponden a un incremento del riesgo de cáncer de vejiga del orden del 10%.
Vinceti et al., 2004	Un incremento pequeño pero estadísticamente significativo en la tasa de mortalidad del cáncer en los varones que consumen agua con altos niveles de THM. En las mujeres, el incremento no es estadísticamente significativo.
Bove et al., 2007	Altos niveles de consumo de THM incrementan el riesgo de cáncer de vejiga. Los resultados fueron más significativos al analizarse en relación al bromoformo y para exposiciones a aguas más lejanas del sistema de distribución.
Chang et al., 2007	Se encontró una correlación positiva y significativa entre la concentración de THM en el agua potable con el riesgo de muerte debido a cáncer de vejiga.
Villanueva et al., 2007.	Se encontró un riesgo incrementado a cáncer de vejiga asociado cuando se estimó la exposición a SPDs mediante la ingestión de agua potable, absorción dérmica e inhalación durante la ducha, el baño y nadar en piscinas. Un riesgo doble para cáncer de vejiga se asoció con la exposición a niveles de SPD de 50 µg/L.

Fuente: Villanueva; et al; 2001a; USEPA, 2006

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Carrasco D. 2005 "Metodología de la Investigación Científica"- Pautas Metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de Investigación San Marcos. - Perú.

- American Water Works Association (1997). Standard for Disinfection of water treatment plants. ANSI/AWWA C653-97. American Water Works Association, Denver. Colorado, EE.UU.
- American Water Works Association Roundtable (1999). The disinfectant residual dilemma. Journ. AWWA, Vol. 91 (enero, 1999).
- Bull Richard J. (1993). Toxicology of disinfectants and disinfectant by-products. En Craun Gunther F. (editor): Safety of water disinfection: Balancing chemical & microbial risks. ILSI Press, Washington D.C., EE.UU.
- Grombach P. (1983). Desinfección en plantas de tratamiento de agua. Desarrollo Nacional. Buenos Aires, Argentina (Abril).
- LeChevallier Mark W. (1999), The case for maintaining a disinfectant residual. Journ. AWWA, Vol. 91 (enero, 1999).
- Clark Robert M., Hurst Chritian J., Regli Stig (1993) Cost and benefits of pathogen control in drinking water. En Craun Gunther F. (editor): Safety of water disinfection: Balancing chemical & microbial risks. ILSI Press, Washington D.C., EE.UU.
- Connell Gerald F. (1996), The chlorine/chloramination handbook. American Water Works Association, Water Disinfection Series, Denver, Colorado, EE.UU.
- Degrémont (1979). Manual Técnico del Agua. 4ta. Edición (en castellano). Grijelmo S.A., Bilbao, España.
- Gordon G. y Rosenblatt A. (1995). Gaseous chlorine-free chlorine dioxide for drinking water. En: Proceedings 1995 AWWA-WQTC Conference, AWWA, Denver, Colorado, EE.UU.