



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Estudio de la influencia del tipo de tratamiento de potabilización en la generación y permanencia de trihalometanos en los sistemas de potabilización utilizados en la Comunidad Autónoma de Aragón.

Autor: Laura Lomba Eraso

Institución: Universidad San Jorge

e-mail: alu.03386@usj.es

Otros Autores: Beatriz Giner Parache (Grupo Consolidado de Investigación Aplicada Gimaces, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad San Jorge); M^a Rosa Pino Otín (Grupo Consolidado de Investigación Aplicada Gimaces, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad San Jorge); Elisa Langa Morales (Grupo Consolidado de Investigación Aplicación Gimaces, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad San Jorge); Cecilia Español Latorre (Grupo Consolidado de Investigación Aplicación Gimaces, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad San Jorge); Isabel Bosque Peralta (Servicio de Salud Alimentaria y Ambiental del Gobierno de Aragón); M^a Carmen Olalla Ginoves (Servicio de Salud Alimentaria y Ambiental del Gobierno de Aragón).

RESUMEN

El agua es uno de los principales transmisores de microorganismos patógenos, por ello, es necesario realizar procesos de desinfección durante la potabilización de las aguas. Los procesos de desinfección, a su vez, generan sustancias orgánicas que también son perjudiciales para la salud, en concreto los trihalometanos (THMs), parámetro en el que se centra el presente estudio. Este trabajo pretende estudiar la influencia del tipo de tratamiento de potabilización, presentes en la Comunidad Autónoma de Aragón, en la formación y permanencia de THMs generados de dicha potabilización. Para ello se realizó un estudio exhaustivo de la base de datos del SINAC (Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo), que permitió estudiar la variación de la concentración de THMs en cada una de las zonas de abastecimiento de la Comunidad Autónoma y la variación dentro de las diferentes épocas del año. En este estudio, se comprobó que existen 61 zonas de abastecimiento que sobrepasan los límites legales (100 mg/L) de THMs y que por lo tanto podrían ser susceptibles de ser mejoradas. De esas 61 zonas de abastecimiento se han estudiado doce plantas potabilizadoras que han permitido comprender el sistema de potabilización y la información necesaria de los diferentes tratamientos. Se comprobó que la concentración de trihalometanos es superior en depósito que en red de distribución, excepto para una de las zonas de abastecimiento y que, además, la concentración de THMs obtenida durante los meses de abril-septiembre es mayor que durante el resto del año. El estudio también demostró que la tendencia en la formación de los diferentes tipos de THMs es cloroformo>bromodiclorometano>dibromoclorometano y bromoformo. Por último, se realizó un estudio experimental analizando algunas de las diferentes plantas potabilizadoras y se pudo comprobar que, de 14 que fueron analizadas, 4 rebasaban el límite legal y únicamente otras 4 de ellas seguían la tendencia observada en el histórico.

Palabras Clave: Trihalometanos, agua, potabilización

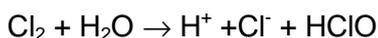
La cloración del agua supuso un avance en salud pública a principios del siglo XX al eliminar patógenos del agua reduciendo la incidencia de enfermedades infecciosas. A pesar de este beneficio, el cloro reacciona con precursores orgánicos del agua generando una mezcla compleja de subproductos organoclorados y organobromados con propiedades mutágenas y cancerígenas: trihalometanos, ácidos acéticos, halogenados, acetonitrilos halogenados, etc^{i, ii}.

El agua destinada al consumo humano es la que sirve para beber, cocinar, preparar alimentos u otros usos domésticos. Cada país regula por ley la calidad del agua destinada al consumo humano. La ley europea protege **la salud de las personas de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación de las aguas destinadas al consumo humano garantizando su salubridad y limpieza** y por ello no puede contener ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un peligro para la salud humanaⁱⁱⁱ.

Existen diferentes técnicas que permiten potabilizar el agua. El proceso llevado a cabo es largo ya que consta de varias etapas: **tratamiento primario** (tienen por objeto la eliminación de sólidos en suspensión, coloides, metales pesados y aceites y grasas.), **tratamiento secundario** (se elimina materia orgánica biodegradable) y **tratamientos terciarios** (permiten la desinfección de las aguas y se llevan a cabo en las plantas potabilizadoras).

El cloro y los compuestos que contienen cloro son oxidantes muy potentes y pueden reaccionar con una variedad de materiales orgánicos e inorgánicos en el agua antes de que se obtenga suficiente desinfección^{iv}.

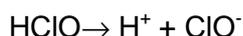
El cloro es el material más utilizado como desinfectante del agua, hidrolizándose rápidamente cuando se agrega con el agua según la reacción siguiente:



La hipótesis más aceptada de cómo actúa y destruye el cloro estos microorganismos patógenos es que produce alteraciones químicas, físicas y bioquímicas en la membrana o pared protectora de las células ocasionando el fin de sus funciones vitales^v.

El cloro puede resultar irritante para las mucosas y la piel, por ello su utilización está muy vigilada. La proporción usada varía entre 1 ppm cuando se trata de purificar el agua para consumo y entre 1-2 ppm para la preparación de agua de baño. La aplicación inadecuada de componentes químicos en el agua puede resultar peligrosa^{vi}.

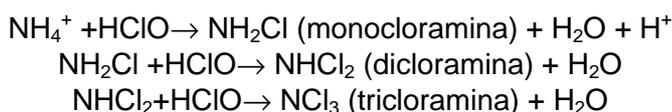
El ácido hipocloroso, HClO, es un ácido débil que se disocia según la reacción:



Con una constante de ionización de 2.7×10^{-8} . De lo anterior puede deducirse que la concentración de cloro elemental es despreciable en el equilibrio a pH mayor que 3 cuando el cloro se agrega al agua a niveles por debajo de 1.0 g/L.

A veces las sales de hipoclorito sustituyen al gas cloro como desinfectante y para ello, normalmente, se usa hipoclorito cálcico o hipoclorito sódico. Los hipocloritos son más seguros de manipular que el cloro gaseoso.

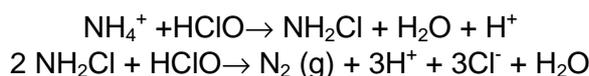
Las dos especies químicas formadas por el cloro en el agua, HClO y ClO⁻, se conocen como cloro libre disponible. El cloro libre disponible es muy eficaz para matar a las bacterias. En presencia de amoníaco, se forma monocloramina, dicloramina y tricloramina:



A las cloraminas se les denomina cloro combinado disponible. La práctica de cloración frecuentemente proporciona la formación de cloro combinado disponible que, aunque es un desinfectante más débil que el cloro libre disponible, se retiene más fácilmente como desinfectante a lo largo del sistema de distribución del agua. Demasiado amoníaco en el agua es considerado indeseable porque ejerce una demanda excesiva de cloro.

Para relaciones molares Cl:N suficientemente altas en agua que contienen amoníaco, algo de HClO o ClO⁻ permanece sin reaccionar en la solución y se forma una pequeña cantidad de tricloramina. La proporción Cl:N a la que esto ocurre se llama punto de ruptura. La cloración más allá del punto de ruptura asegura la desinfección. Tiene la ventaja adicional de destruir los compuestos más comunes que causan olor y sabor en el agua.

A niveles moderados de NH₃-N (aproximadamente 20 mg/L) cuando el pH está entre 5-8, la cloración con una proporción en peso mínima de Cl reexpuesto a NH₃-nitrógeno de 8:1 produce una desnitrificación eficaz:



Esta reacción se utiliza para eliminar el amoníaco contaminante de las aguas residuales. Sin embargo, pueden surgir problemas en la cloración de desechos orgánicos. Un subproducto típico es el cloroformo, que se produce por la cloración de sustancias húmicas en el agua.

Cuando el agua presenta problemas de olor y sabor debidos a una elevada carga de materia orgánica, suele realizarse una supercloración, consistente en la adición de una cantidad de agente clorante muy superior a la demanda de cloro del agua. De esta forma, se elimina un mayor número de sustancias orgánicas, que permanecerían después del punto de ruptura^{vii}.

A pesar de las ventajas del cloro, los subproductos de desinfección que se forman se deben a la interacción de cloro libre con materia orgánica representado mediante la siguiente reacción:



Siendo THMs (trihalometanos), HAAs (ácidos haloacéticos) y HANs (haloaceonitrilos), otros subproductos podrían ser halocetonas, haloaldehídos, etc^{viii}.

Los trihalometanos son un grupo de compuestos volátiles (VOC's) clasificados como subproductos de desinfección. Su fórmula general es CHX_3 , donde X generalmente es un halógeno o una combinación de halógenos. Sin embargo, generalmente se habla de estos compuestos cuando contienen cloro o bromo porque son los más comunes en aguas tratadas con cloro (cloroformo, bromodiclorometano, dibromoclorometano y bromoformo)

El ratio y el grado de formación de THMs aumenta en función de una serie de parámetros como pueden ser: la dosis de cloro, de la temperatura, del pH, tiempo de reacción y la concentración de iones bromuro^{ix}. El cloroformo es el más común de los trihalometanos; sin embargo, cuando hay iones bromuro o bromo la concentración de cloroformo disminuye. Las concentraciones generales en agua clorada de los distintos THM son: cloroformo > bromodiclorometano > dibromoclorometano > bromoformo.

El ion bromuro juega un papel muy importante, especialmente en la formación de subproductos. La presencia de bromo durante la cloración puede hacer que el ácido hipocloroso pueda oxidar el bromuro a ácido hipobromoso. La presencia del ion bromuro mantiene los niveles de THMs, sin embargo, la concentración de cloroformo disminuye, observándose un incremento de las especies bromadas. Además, cabe destacar, que las especies bromadas tienen un mayor efecto cancerígeno y mutagénico; por lo tanto las especies de THM bromadas se consideran más tóxicas que las que no poseen bromo^x.

En los últimos años se ha producido una acumulación de datos que evidencian que la exposición a trihalometanos se asocia con un mayor riesgo de cáncer^{xi}, sobre todo de vejiga, y trastornos de la reproducción^{xii, xiii}. De los cuatro trihalometanos (cloroformo, bromodiclorometano, bromoformo y dibromoclorometano), la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer ha clasificado a los dos primeros como cancerígenos potenciales; además una directiva Europea (Directiva 98/94/CE) regula los valores máximos aceptables de trihalometanos totales.

MÉTODOS

Estudio de las analíticas previas al presente trabajo

Para llevar a cabo la recopilación de datos de años anteriores, se utilizó un soporte informático y además se contó con el programa del SINAC (Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo). Según el RD 140/2003 la cantidad de trihalometanos

(bromodiclorometano, bromoformo, cloroformo, dibromoclorometano) presentes en agua no debe ser mayor de 100 µg/L.

El número de muestras de agua analizadas en cada municipio según RD 140/2003 depende del volumen de agua tratada por día considerado, además cabe destacar que, la dotación media por habitante y día es de 200 litros.

Durante este estudio se analizó el periodo 2003-2009, por ello cabe destacar que, aunque nos basemos en la legislación actual, hay que resaltar que hasta el 1 de Enero del año 2009 la cantidad de trihalometanos permitidos presentes en agua no debía superar los 150 µg/L y a partir del 1 de Enero esa cantidad se redujo a 100 µg/L.

Para la selección de puntos a estudio de estas analíticas previas, se siguieron los siguientes criterios:

- 1) Todos aquellos municipios que sobrepasaron, en una medida, los 150 µg/L entre los años 2003-2009. Se escogió este valor porque, como se ha citado anteriormente, hasta el 1 de enero de 2009 la legislación permitía presentar valores, en agua, de trihalometanos inferiores a los 150 µg/L.
- 2) Todos aquellos municipios que sobrepasaron, en una medida, los 100 µg/L entre los años 2003-2009. Se ha escogido este valor porque, como se ha citado anteriormente, a partir del 1 de enero de 2009, la legislación no permite presentar valores en agua de trihalometanos superiores a los 100 µg/L.
- 3) Todos aquellos municipios que se encuentren, en una medida, en el rango de 100-150 µg/L ya que, permitirá conocer qué municipios se encuentran en la franja crítica según la legislación actual.
- 4) Todos aquellos municipios que sobrepasaron, en una medida, los 80 µg/L entre los años 2003-2009. Se ha escogido este valor porque representa una reducción del 20% del valor límite que la legislación actual permite obtener de trihalometanos.
- 5) Todos aquellos municipios que sobrepasaron, en dos medidas, los 100 µg/L entre los años 2003-2009. Se ha escogido este valor porque, como se ha citado anteriormente, a partir del 1 de enero de 2009 la legislación no permite presentar valores en agua de trihalometanos superiores a los 100 µg/L.
- 6) Todas aquellas zonas de abastecimiento que sobrepasaron, en dos medidas, los 100 µg/L entre los años 2003-2009. Se ha escogido este valor porque, como se ha citado anteriormente, a partir del 1 de enero de 2009, la legislación no permite presentar valores en agua de trihalometanos superiores a los 100 µg/L.

Del estudio de la base de datos del SINAC se obtuvo que existían 22 municipios en la Comunidad Autónoma de Aragón que rebasaron, en una medida, los 150 µg/L entre los años 2003-2009, 58 municipios que rebasaron, en una medida, los 100 µg/L entre los años 2003-2009, 47 municipios que se encontraban, en una medida, entre los 100 y 150 µg/L, 80 municipios que rebasaron, en una medida, los 80 µg/L entre los años 2003-2009, 13 municipios que superaron, en dos medidas, los 100 µg/L entre los años 2003-2009, 12 zonas de abastecimiento que superaron, en dos medidas, los 100 µg/L entre los años 2003-2009.

Se realizó un estudio estadístico que permitió obtener las concentraciones medias de trihalometanos en depósito y en red así como la observación de las diferencias existentes entre la época cálida y la época fría. Se comprobó que la concentración media obtenida en depósito sin separar por etapas es de 73.49 $\mu\text{g/L}$, y la concentración en red de distribución es 64.29 $\mu\text{g/L}$, obteniéndose un exceso del 12.52% de trihalometanos en el depósito.

Las concentraciones medias de trihalometanos en función de las épocas del año se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Diferencias de concentración de THMs en función de la temperatura del año. Siendo época cálida (abril- septiembre) y época fría (octubre-marzo)

	Época cálida	Época fría
Depósito	80.67 $\mu\text{g/L}$	54.90 $\mu\text{g/L}$
Red de distribución	63.53 $\mu\text{g/L}$	60.51 $\mu\text{g/L}$

También se estudió la concentración obtenida de los diferentes tipos de trihalometanos formados obteniéndose los valores esperados de acuerdo con la bibliografía consultada^{xiv}. En la figura 1 se observa que tanto para red como para depósito, y a su vez, en la época cálida y la época fría la concentración de trihalometanos sigue el siguiente orden:

Cloroformo > Bromodiclorometano > Dibromoclorometano > Bromoformo.

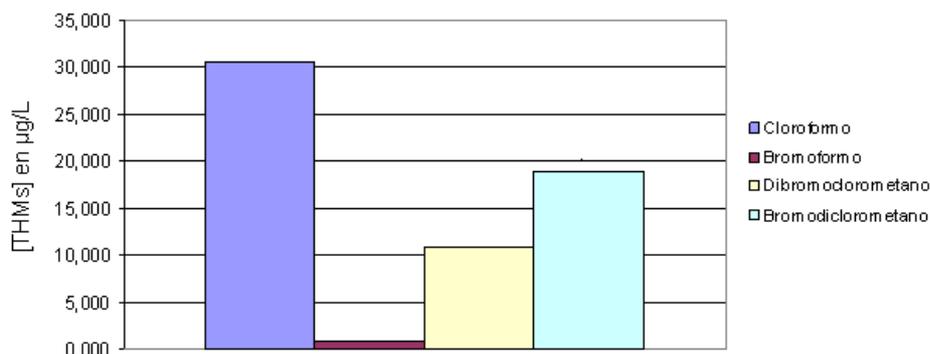


Figura 1. Concentración de los diferentes trihalometanos

Estudio de las potabilizadoras para la obtención de una potabilizadora ideal

Se estudiaron 12 plantas potabilizadoras que permitieron comprobar que el sistema de potabilización no era el mismo en todas ellas así como la obtención de diferentes patrones de potabilización.

Todas las plantas potabilizadoras estudiadas presentan los procesos de cloración y coagulación. De las 12 plantas estudiadas hay 3 que presentan filtros abiertos y el resto

filtros cerrados. Además, 5 plantas presentan decantación en un decantador pero 7 tienen sedimentación natural antes de la propia planta.

Tras haber realizado un estudio de las plantas potabilizadoras se puede proponer como “planta potabilizadora ideal” aquella que contenga, como mínimo, los siguientes procesos:

1. **Desbaste:** Permitiendo eliminar aquellas partículas grandes que no son adecuadas en el agua
2. **Decantación natural:** utilización de balsas fuera de la planta potabilizadora.
3. **Coagulación:** mediante la adición de sustancias como sulfato de alúmina que permite la formación de coágulos
4. **Decantación:** Permite separar por gravedad las partículas en suspensión. Este paso es crítico, ya que como se ha observado en muchas plantas, no hay tiempo de decantación suficiente disminuyendo así la formación de coágulos y por tanto el rendimiento de la planta.
5. **Filtración:** Utilización de filtros de arena, preferentemente cerrados para evitar contaminación con otras sustancias.
6. **Desinfección:** El método más “barato” es el agentes clorantes, pero existen otras opciones como puede ser la ozonización que evitaría la formación de THMs.



Selección de puntos de muestreo

Para realizar la selección de los puntos de muestreo, se utilizó la base de datos del Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (SINAC). La selección de los puntos de muestreo se basó en elegir aquellas zonas de abastecimiento que tenían una o más analíticas superiores a 100 µg/L. Una vez realizado el primer screening, se eligieron aquellas zonas de abastecimiento que tenían dos o más analíticas superiores a 100 µg/L en un mismo punto de muestreo (depósito, red de distribución y tratamiento).

La selección de los puntos de muestreo se basó en elegir aquellas zonas de abastecimiento que tenían una o más analíticas superiores a 100 µg/L, obteniéndose 61 zonas de abastecimiento de la Comunidad Autónoma de Aragón. De esas 61 zonas de abastecimiento, se seleccionaron aquellas que habían dado dos o más valores, en el mismo punto de muestreo (depósito, red de distribución y tratamiento), superiores a los 100 µg/L obteniéndose 10 zonas de abastecimiento y de estas 10 últimas, únicamente se pudieron estudiar 7 debido a que las otras 3 zonas de abastecimiento ya no presentaban planta potabilizadora.

RESULTADOS

Antes de establecer las conclusiones propias de este trabajo, es necesario poner de manifiesto que, en el transcurso del mismo, se ha observado que en la actualidad la toma de datos, en la gran mayoría de las zonas de abastecimiento, no se realiza de forma sistemática, ni siguiendo un procedimiento que permita profundizar adecuadamente, en el objeto de este estudio.

El amplio número de parámetros que intervienen en la formación y permanencia de THMs en el agua debido a los tipos de potabilización, el hecho de que algunos de estos parámetros los potencien y otros los disminuyan y la posibilidad de solapamiento de algunos de ellos, pueden enmascarar, en todo o en parte, la concreta correlación que pudiera existir entre la formación y permanencia de los THMs y los tipos de potabilización. Se hace necesario diseñar un protocolo que permita obtener unos datos lo menos sesgados posibles, a los efectos de realizar el estudio que permita establecer la posible correlación.

Para ello se hace preciso determinar qué variables pueden condicionar significativamente los parámetros considerados. Se propone, por ejemplo que, si se considera el parámetro época (cálida, fría) se considere, la variable temperatura a la que es recogida la muestra al efecto de interpretar y homogenizar los valores obtenidos en el análisis de la muestra para el parámetro época.

En todas las muestras de agua colectadas se detectaron concentraciones de trihalometanos cuantificables y, en todos ellos la concentración fue superior a 50 µg/L. Únicamente se analizó la etapa fría (octubre-marzo) ya que si los valores obtenidos son elevados, es probable que las concentraciones de trihalometanos sean superiores en la época cálida (abril-septiembre) debido a la cinética de reacción de la formación de los mismos.

En la tabla 2 se recogen las concentraciones de cada uno de los trihalometanos, así como la concentración total de los mismos en la campaña de muestreo.

Las muestras se tomaron a temperatura ambiente y presión atmosférica utilizando un recipiente de vidrio perfectamente cerrado de 250 mL y sin cámara de aire; las muestras se conservaron a bajas temperaturas.

Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio CICAP, S.L. y en la Universidad San Jorge. Los equipos utilizados fueron un cromatógrafo de gases con detector de espectrofotometría de masas (GC-MS QP-2010 de Shimadzu), un refractómetro ABBE ZUZI MOD 325, un espectrofotómetro UV-VIS PG INSTRUMENTS MOD.T60 y un pHmetro HANNA MOD.HI-221

Tabla 2. Concentración de trihalometanos en cada uno de los puntos de muestreo en la época cálida (abril-septiembre)

	[CHCl ₃]	[CHBrCl ₂]	[CHBr ₂ Cl]	[CHBr ₃]	[THMs]total
Punto 1 (Depósito)	25.57	58.49	51.63	14.45	150.14
Punto 1 (Red distribución)	24.55	50.16	51.20	13.85	139.75
Punto 2 (Depósito)	63.71	13.58	0.16	0.00	77.45
Punto 2 (Red distribución)	61.34	11.72	1.30	0.00	74.35
Punto 3 (Depósito)	119.00	16.65	1.79	0.00	137.44
Punto 3 (Red distribución)	118.02	15.94	2.06	0.00	136.02
Punto 4 (Depósito)	47.94	14.49	4.47	0.12	67.02
Punto 4 (Red distribución)	47.35	10.91	1.43	0.00	59.69
Punto 5 (Depósito)	50.33	22.05	6.86	0.09	79.33
Punto 5 (Red distribución)	54.05	20.13	7.07	0.00	81.26
Punto 6 (Depósito)	51.12	14.76	2.91	0.00	68.79
Punto 6 (Red distribución)	47.24	19.24	6.30	0.20	72.98
Punto 7 (Depósito)	62.62	14.16	2.28	0.00	79.06
Punto 7 (Red distribución)	61.90	14.87	2.37	0.00	79.14

Además se analizaron otros parámetros (índice de refracción, absorbancia a 250 nm, pH y conductividad a distintas temperaturas) para comprobar si había alguna dependencia entre la concentración de trihalometanos y el resto de parámetros.

En la tabla 3 se presentan los índice de refracción obtenidos para cada uno de los puntos de muestro. Como se puede observar son muy similares en todos ellos variando únicamente en las dos últimas cifras.

Tabla 3. Índice de refracción de los diferentes puntos de muestreo

	n _d (1)	n _d (2)	n _d
Punto 1 (Depósito)	1,3337	1,3338	1,3338
Punto 1 (Red distribución)	1,3355	1,3358	1,3357
Punto 2 (Depósito)	1,333	1,3336	1,3333
Punto 2 (Red distribución)	1,3336	1,3335	1,3336
Punto 3 (Depósito)	1,3332	1,3332	1,3332
Punto 3 (Red distribución)	1,3334	1,3331	1,3333
Punto 4 (Depósito)	1,3328	1,333	1,3329
Punto 4 (Red distribución)	1,333	1,3329	1,3330
Punto 5 (Depósito)	1,3327	1,3328	1,3328
Punto 5 (Red distribución)	1,3326	1,3327	1,3327
Punto 6 (Depósito)	1,3330	1,3330	1,3330
Punto 6 (Red distribución)	1,3325	1,3325	1,3325
Punto 7 (Depósito)	1,3332	1,3324	1,3328
Punto 7 (Red distribución)	1,3327	1,3328	1,3328

En la tabla 4 se presentan los valores de las absorbancias a 250 nm obtenidas para cada uno de los puntos de muestro. Como se puede observar son muy similares en todos ellos.

Tabla 4. Absorbancia a 250 nm de los diferentes puntos de muestreo

	Abs (1)	Abs (2)	Abs
Punto 1 (Depósito)	0,018	0,018	0,018
Punto 1 (Red distribución)	0,016	0,017	0,016
Punto 2 (Depósito)	0,022	0,021	0,021
Punto 2 (Red distribución)	0,022	0,022	0,022
Punto 3 (Depósito)	0,023	0,024	0,023
Punto 3 (Red distribución)	0,016	0,016	0,016
Punto 4 (Depósito)	0,036	0,036	0,036
Punto 4 (Red distribución)	0,03	0,032	0,031
Punto 5 (Depósito)	0,024	0,026	0,025
Punto 5 (Red distribución)	0,025	0,025	0,025
Punto 6 (Depósito)	0,022	0,021	0,021
Punto 6 (Red distribución)	0,043	0,043	0,043
Punto 7 (Depósito)	0,029	0,03	0,029
Punto 7 (Red distribución)	0,029	0,029	0,029

En la tabla 5 se presentan los valores del pH a distintas temperaturas para cada uno de los puntos de muestro.

Tabla 5. pH a diferentes temperaturas

	pH (10°C)	pH (15°C)	pH (20°C)	pH (25°C)	pH (30°C)
Punto 1 (Depósito)	7,60	7,62	7,66	7,64	7,72
Punto 1 (Red distribución)	7,76	7,58	7,73	7,68	7,74
Punto 2 (Depósito)	8,01	8,03	8,06	8,06	8,07
Punto 2 (Red distribución)	8,07	8,06	8,10	8,00	8,12
Punto 3 (Depósito)	8,34	8,37	8,40	8,35	8,36
Punto 3 (Red distribución)	8,18	8,18	8,15	8,29	8,31
Punto 4 (Depósito)	8,10	8,08	8,09	8,20	8,26
Punto 4 (Red distribución)	8,06	8,05	8,06	8,15	8,16
Punto 5 (Depósito)	8,17	8,17	8,14	8,19	8,24
Punto 5 (Red distribución)	8,11	8,06	8,17	8,21	8,27
Punto 6 (Depósito)	7,84	8,07	8,14	8,15	8,19

Punto 6 (Red distribución)	7,83	8,06	8,08	8,13	8,17
Punto 7 (Depósito)	7,97	8,11	8,18	8,13	8,16
Punto 7 (Red distribución)	7,95	8,09	8,05	8,06	8,15

En la tabla 6 se presentan los valores de las conductividades a distintas temperaturas para cada uno de los puntos de muestro.

Tabla 6. Conductividades a diferentes temperaturas

	Λ (10°C)	Λ (15°C)	Λ (20°C)	Λ (25°C)	Λ (30°C)
Punto 1 (Depósito)	1635	1535	1540	1665	1735
Punto 1 (Red distribución)	1525	1355	1570	1640	1685
Punto 2 (Depósito)	345	345	330	430	530
Punto 2 (Red distribución)	350	310	365	385	415
Punto 3 (Depósito)	390	360	390	455	470
Punto 3 (Red distribución)	405	335	355	430	440
Punto 4 (Depósito)	360	320	340	400	415
Punto 4 (Red distribución)	355	305	320	380	390
Punto 5 (Depósito)	365	320	330	395	400
Punto 5 (Red distribución)	360	310	335	400	405
Punto 6 (Depósito)	345	300	320	375	385
Punto 6 (Red distribución)	435	360	390	465	465
Punto 7 (Depósito)	350	445	335	395	410
Punto 7 (Red distribución)	355	310	325	400	405

DISCUSIÓN

Estudio de las analíticas previas al presente trabajo

Tras la recopilación de datos de las analíticas de años anteriores y de su análisis, utilizando para ello un soporte informático y el programa del SINAC (Sistema de información Nacional de Aguas de Consumo) se puede concluir que no existe, en la Comunidad Autónoma de Aragón, un protocolo para la obtención de datos en los que pueda basarse razonablemente un estudio de correlación entre el tipo de tratamiento de potabilización y la formación y permanencia de THMs generados en dicha potabilización; lo que resulta necesario tener en cuenta a la hora de interpretar, prácticamente, todas las conclusiones que se recogen seguidamente, en la medida que pueden estar condicionadas por este hecho.

Los datos históricos de que se dispone en la base de datos de SINAC, son resultados obtenidos del análisis de THMs en agua, siempre después de su cloración. No existe información de analítica del agua antes de la cloración.

Estudio de las potabilizadoras para la obtención de una potabilizadora ideal

Tras haber realizado un análisis de cada una de las plantas potabilizadoras visitadas y estudiadas cabe citar que, en general, siguen el esquema de proceso de:

- Precloración y coagulación
- Floculación y decantación
- Filtración

Pero se ha puesto en evidencia que, en muchas de ellas, no existe un decantador sino que, la decantación se realiza en unas balsas que se encuentran fuera de las plantas potabilizadoras. Estas balsas permiten realizar una primera decantación de manera natural pero sería conveniente realizar la decantación utilizando floculantes y un decantador.

También se observó que, en algunos casos, en los que existe decantación mediante decantador, el tiempo transcurrido entre la adición de floculante y la decantación no es suficiente; por lo tanto, no se realiza una correcta formación del flóculo impidiendo así, la eliminación de determinada materia en suspensión.

En ninguna de las plantas potabilizadoras estudiadas se realiza una amplia analítica previa a la cloración que quede reflejada en la base de datos de SINAC, que permita determinar los parámetros que pudieran condicionar la cloración.

Tomando como referencia la “potabilizadora tipo”, debieran modificarse o sustituirse aquellas potabilizadoras que no cumplan con éstos mínimos procedimientos. La excepción, en algunas zonas de abastecimiento, a la necesidad de disponer de una potabilizadora tipo puede venir determinada por el sistema de potabilización que necesite el agua en función de la calidad de la misma; ya que, obviamente, todas las aguas no presentan los mismos componentes y, en definitiva, calidad.

En cuanto al personal técnico que trabaja en las plantas potabilizadoras, se entiende necesario dispongan de: formación adecuada y de protocolos de trabajo detallados y por escrito que les permitan realizar convenientemente su trabajo y colaborar en la formación de bases de datos que posibiliten la realización de trabajos como este u otros que puedan resultar de interés.

Selección de puntos de muestreo

Consecuencia de la primera selección de las zonas de abastecimiento de la Comunidad Autónoma de Aragón, en base a valores superiores a 100 µg/L, se obtuvieron 61 zonas de abastecimiento que incumplían la normativa vigente. En valores absolutos, supone un alto número de incumplimientos.

CONCLUSIONES

La concentración de THMs en red y en depósito sigue las tendencias que se han evidenciado en las analíticas previas (conclusión primera). En cuanto a la concentración de THMs en red y depósito, en época cálida y época fría, no se ha podido comparar experimentalmente ya que no se ha realizado una campaña de muestreo en la época cálida.

Aquellas muestras que obtuvieron una concentración de trihalometanos mayor presentaron una absorbancia más baja que el resto. En cuanto a los valores de pH y conductividad la tendencia general es de alrededor de 8 y entre 350-400 μ S para cada uno de los parámetros anteriormente citados, respectivamente; sin embargo hubo una zona que presentó valores de THMs superiores y se obtuvo un pH inferior y además una conductividad mayor. El resto de muestras presentaron valores similares en THMs, en conductividad, pH y absorbancia.

Aunque no se ha podido establecer la existencia de una correlación determinada entre el tipo de potabilización y la formación y permanencia de THMs generados en dicha potabilización con las mínimas garantías, como ya se ha dejado patente en el apartado de discusión, si puede concluirse que:

1. Del estudio experimental y de los datos existentes en el SINAC se observó, en general, una mayor concentración de THMs en depósito que en red de distribución.
2. Del estudio experimental y de los datos de SINAC, se puede deducir que la formación de los distintos THMs, de mayor a menor es: cloroformo>bromodichlorometano>dibromoclorometano>bromoforno
3. Del estudio de los datos del SINAC, se evidencia que, en general, la concentración en depósito y red es superior en época cálida a la de la época fría. Sería necesario abordar la toma de muestras en campaña de verano, para confirmar experimentalmente esta tendencia.
4. Debiera realizarse una analítica del agua más amplia que la de la turbidez para decidir la cantidad de agente clorante añadido al agua y permitir mejorar las condiciones de potabilización evitando así, la generación de más THMs.
5. Realizada una analítica previa más amplia que la de la turbidez, parece aconsejable establecer, en su caso, algún tratamiento previo a la cloración con otros componentes químicos que permitieran una disminución de materia orgánica y, consecuentemente, una disminución de formación de THMs. Esta hipótesis deberá verificarse con sus correspondientes estudios.

Determinadas prácticas de potabilización pueden ser causa de una mayor o menor generación de THMs; es el caso de las potabilizadoras en las que, existiendo decantador, el tiempo transcurrido entre la adición del floculante y la decantación parece ser un factor relevante en la eficacia del proceso, lo que ya se ha manifestado en la conclusión segunda, ya que un tiempo demasiado corto impide la correcta formación del flóculo y la eliminación de materia orgánica en suspensión. Esta hipótesis deberá verificarse con estudios experimentales complementarios al presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada por el Servicio de Salud Alimentaria y Ambiental del Gobierno de Aragón y por la empresa CICAP, SL.

REFERENCIAS

ⁱ Stocker KJ, Statham J, Howard WR, Proudlock RJ. Assessment of the potential in vivo genotoxicity of three trihalomethanes: chlorodibromomethane, bromodichloromethane and bromoform. *Mutagenesis* 1997; 12 (3): 169-173.

ⁱⁱ Komulainen H, Kosma VM, Vaittinen SL, Vartiainen T, Kaliste- Korhonen E, Lotjonen S et al. Carcinogenicity of the drinking water mutagen 3-chloro-4- (dichloromethyl)-5-hydroxy- 2(5H)-furanone in the rat. *J Natl Cancer Inst* 1997;89 (12): 848-856.

ⁱⁱⁱ Directiva 98/83/CE relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

^{iv} A. SÁNCHEZ ZAFRA Efectos de los trihalometanos sobre la salud *Hig. Sanid. Ambient.* 8: 280-290 (2008)

^v Rámirez Quirós, op. cit., p.8-20

^{vi} Rámirez Quirós, op. cit., p.21-23

- vii ***Introducción a la Química Ambiental.*** Stanley E. Mananhan. Pag.241-243. Ed. Reverte 2007
- viii Rook,J.J; ***Formation of haloforms during chlorination of natural waters.*** Journal Water Treatment and Examination, 1974, 23; 234-243)
- ix García-Villanova, R; García, C; Gómez, J.A; García, M.P; Ardanuy, R. ***Formation, evolution and modeling of trihalomethanes in the drinking water of a town:1 at the municipal treatment utilities.*** Water Research 31,1997. 1299-130
- x Sun, Y; Wu, Q; Hu, H; Tian, J. ***Effect of bromide on the formation of disinfection by-products during wastewater chlorination.*** Water Research 43. 2009. 2391-2398)
- xi Richardson, S. New ***Disinfection by-products issues: Emerging DBPS and alternative routes of exposure.*** 2005. Global NEST Journal, vol 7, No 1, 43-60
- xii C.M. Villanueva, M. Kogevinas y J.O. Grimalt.– Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga , *Gac Sanit* 2001; 15 (1): 48-53
- xiii Boorman, G; Dellarco, V; Dunnick, J; Chapin, R; Hunter, S; Hauchman, F; Gardner, H; Cox, M; Sills, R. ***Drinking water disinfection by products: Review and Approach to Toxicity Evaluation.*** Environmental Health Perspectives. 1999, Vol 107, Supplement I, 207-217
- xiv Sun, Y; Wu, Q; Hu, H; Tian, J. ***Effect of bromide on the formation of disinfection by-products during wastewater chlorination.*** Water Research 43. 2009. 2391-2398