

EVALUACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE CLORACIÓN EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

Virginia Montero

Ricardo Coy

Joaquín Jiménez

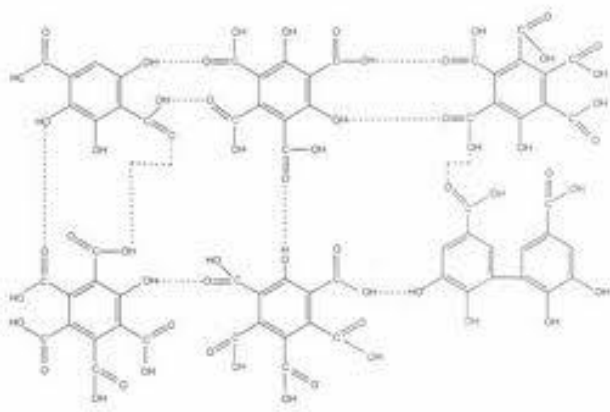
Rodrigo Chinchilla . UNA

 CC BY-NC 4.0

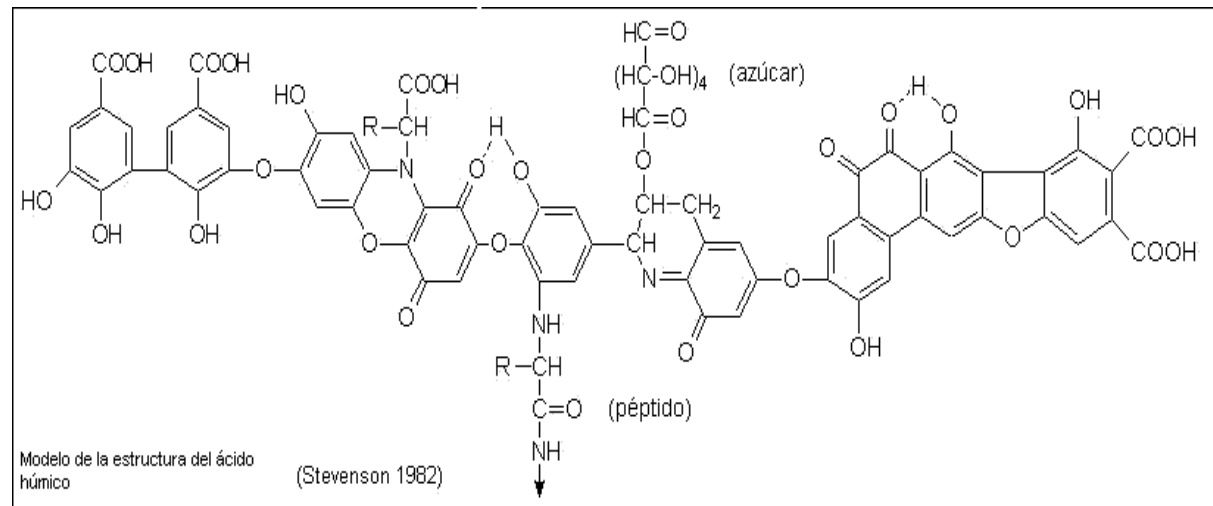
Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International

PROCESO DE CLORACIÓN

- Se produce una serie de reacciones químicas entre el cloro y la materia orgánica presente en el agua a tratar (ác húmicos y fúlvicos)

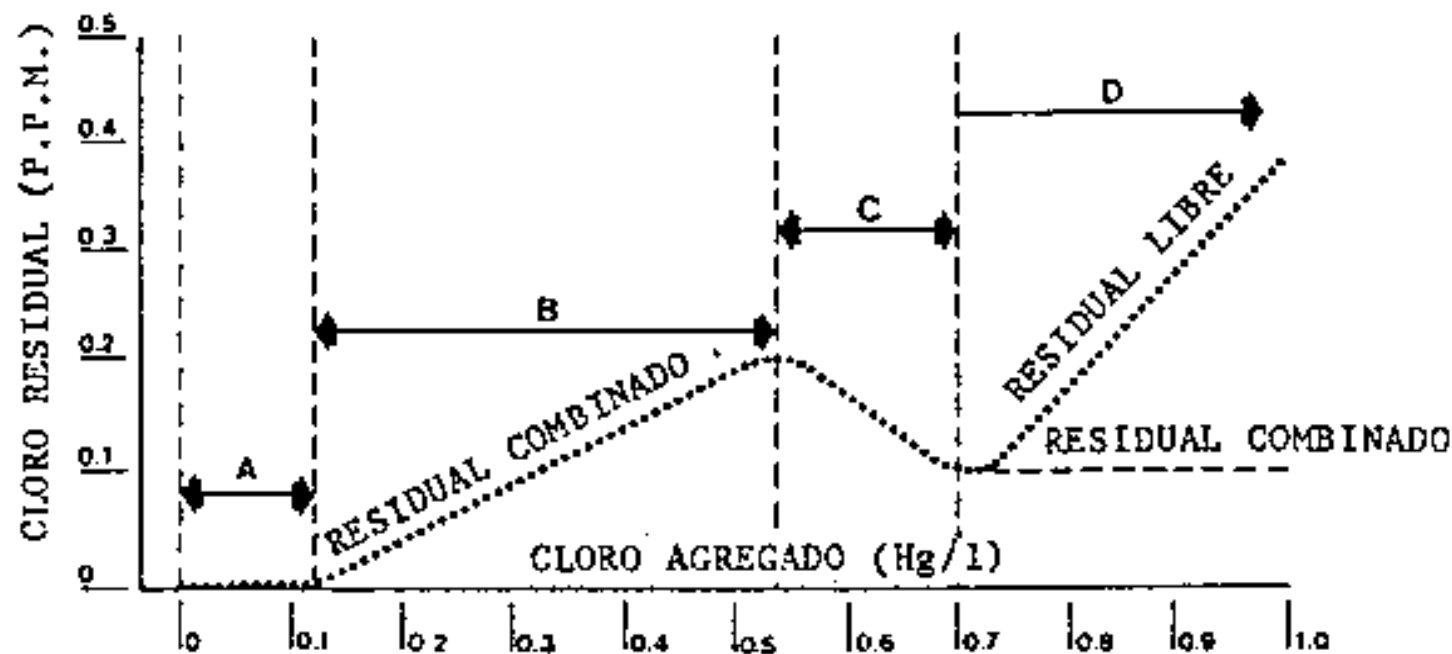


Acido fúlvico



Ácidos húmicos

REACCIONES DEL CLORO EN EL AGUA



A
DESTRUCCION DEL CLORO
MEDIANTE REDUCCION
DE COMPUESTOS

B
FORMACION DE COMPUESTOS
ORGANICOS DE CLORO Y
CLORAMINAS

C
DESTRUCCION DE CLORO Y DE
COMPUESTOS CLORO-ORGANICOS

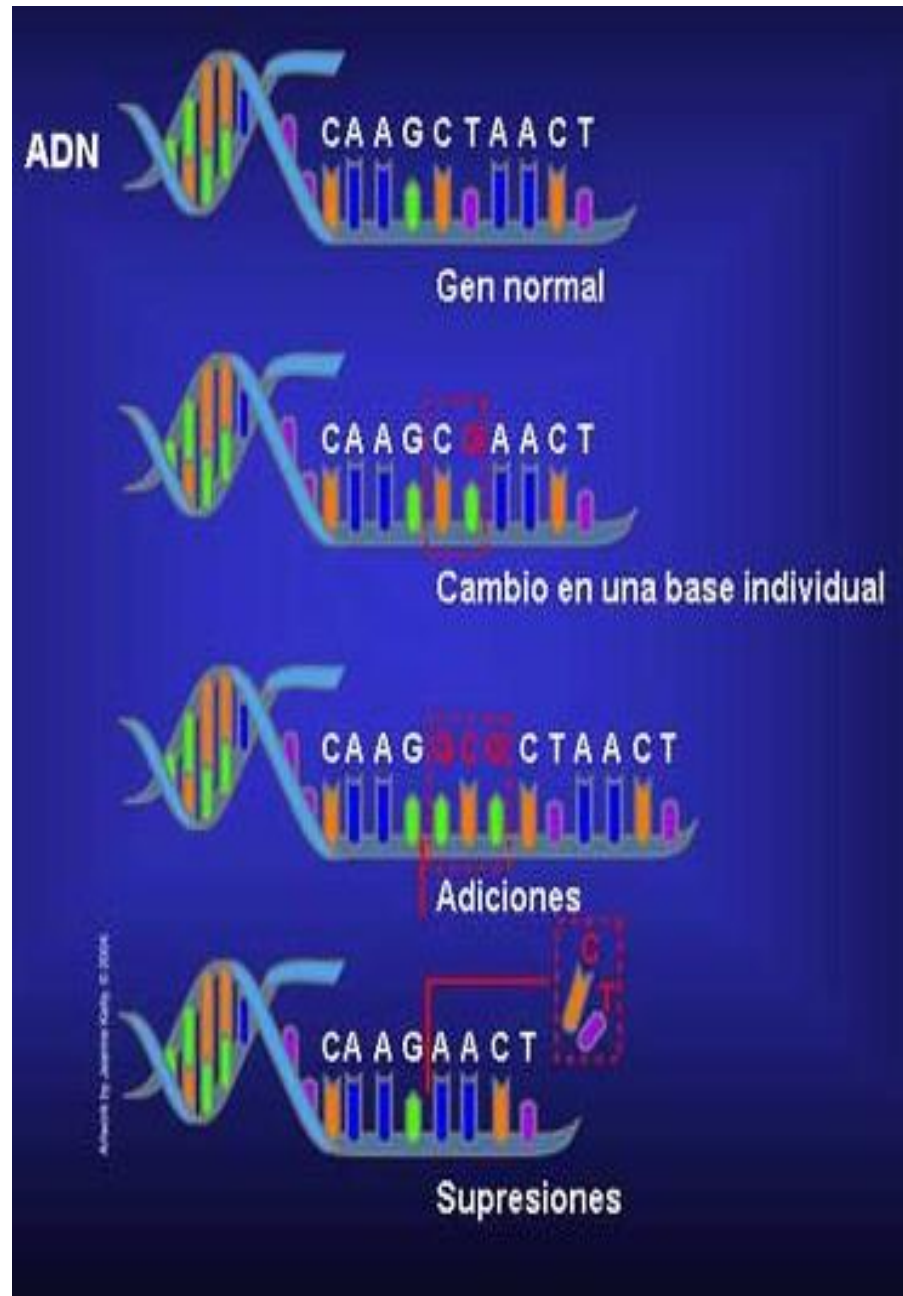
D
FORMACION DE CLORO LIBRE Y
PRESENCIA DE COMPUESTOS
CLORO-ORGANICOS NO DESTRUIDOS

- ◉ *La naturaleza y concentración de los compuestos formados, son dependientes de variables físico- químicas de la materia orgánica del suelo.*
- ◉ Se ve favorecido con el aumento de la dosis de cloro.
- ◉ Con el aumento del tiempo de contacto agua-cloro.

- ⦿ Al aumentar la temperatura, manteniendo el pH y la dosis de cloro en sistemas de almacenamiento.
- ⦿ La conductividad favorece la formación de algunos tipos de THM's

- ◉ *Algunos de estos productos se han descrito mutagénicos y carcinogénicos, con diferentes toxicidades, todos ellos en conjunto se les conoce como Productos Secundarios de Cloración (siglas en inglés SPD), los que se incluyen compuestos llamados trihalometanos (THMs), ácidos haloacéticos (HAAs), además los haloacetonitrilos (HAN), haloaldehídos y halocetonas.*

- Estos compuestos dañan el ADN de células germinales pueden incrementar la incidencia de mutaciones heredables y alteraciones genéticas, y de aquí pueden influir en el inicio del cáncer (Villanueva, et al, 2007).



- ◉ La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado al cloroformo y bromodichlorometano como cancerígenos potenciales.

La información sobre el bromoformo y el dibromoclorometano es insuficiente para evaluar su carcinogenicidad.

- Otras patologías relacionadas con el sistema inmune y efectos adversos en mujeres embarazadas además varios estudios epidemiológicos han demostrado que el consumo de agua clorada sin el adecuado manejo y tratamiento está asociado con un incremento en el riesgo de cáncer gástrico, vejiga y de recto. (Nieuwenhuijsen, et al 2009).

METODOLOGIA

- Para la cuantificación de Carbono orgánico total (TOC) en agua cruda y tratada se siguió el método SM 5310 C por oxidación con persulfato de sodio-oxidación ultravioleta en un TEK Mark FUSION.

METODOLOGIA

- Determinación de trihalometanos utilizando el Estándar de Trihalometanos “EPA 551A Halogenated Volatiles Mix” de Supelco compuesto por 10 sustancias: trihalometanos (bromoforno, cloroformo, bromodiclorometano y dibromoclorometano), trihaloetanos (1,2 dibromoetano, 1,1,1 tricloroetano, trihaloetano, tricloroetileno), trihalopropanos (1,2 dibromo 3, cloropropano), tetrahalometano (tetracloruro de carbono).

- Se utilizó la técnica de Microextracción en fase sólida (HEADSPACE / SPME Solid Fase Microextraction / GS-MS).

- **Fibras de extracción de los compuestos:**

Carboxen/Polidimetilsiloxane
Stable Flex de 85 μm light
Blue (85 μm CAR/PDMS) de
Supelco dado que estudios
realizados anteriormente
señalan esta fase
estacionaria y grosor como
las mas optimas para la
determinación de
compuestos orgánicos
volátiles (VOCs) halogenados



- Para la determinación se utilizó un Cromatógrafo de Gases Varian 450 acoplado a un Espectrómetro de Masas.



RESULTADOS

- 1- Se evaluaron los parámetros de veracidad, repetibilidad, reproducibilidad, incertidumbre y los límites de cuantificación y detección, según los parámetros de la EURACHEM y la INTE/ISO-17025.

Muestra	Valor Promedio (mg/L)
Planta de Tratamiento'	$2,3 \pm 0,3$
Naciente	$0,51 \pm 0,03$

Resultados promedio para nacientes y plantas de tratamiento de agua para carbono orgánico total

- Se analizaron en total 39 *muestras de agua, provenientes de fuentes de agua subterránea (nacientes) administradas por la Municipalidad del Cantón Central de Cartago y agua de origen superficial (Plantas de tratamiento completo) dispensada por los sistemas de Tratamiento de AyA con un total de 156 subproductos determinados y cuantificados correspondiendo estos a: cloroformo, bromodiclorometano, dibromoclorometano y tribromoclorometano.*

EN LAS MUESTRAS DE AGUA DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO COMPLETO SE ENCONTRÓ QUE

- 80 subproductos analizados, 12 de estos superaron el máximo admisible de acuerdo al Reglamento Nacional de Calidad de Agua para consumo humano.

Chromatogram Plot

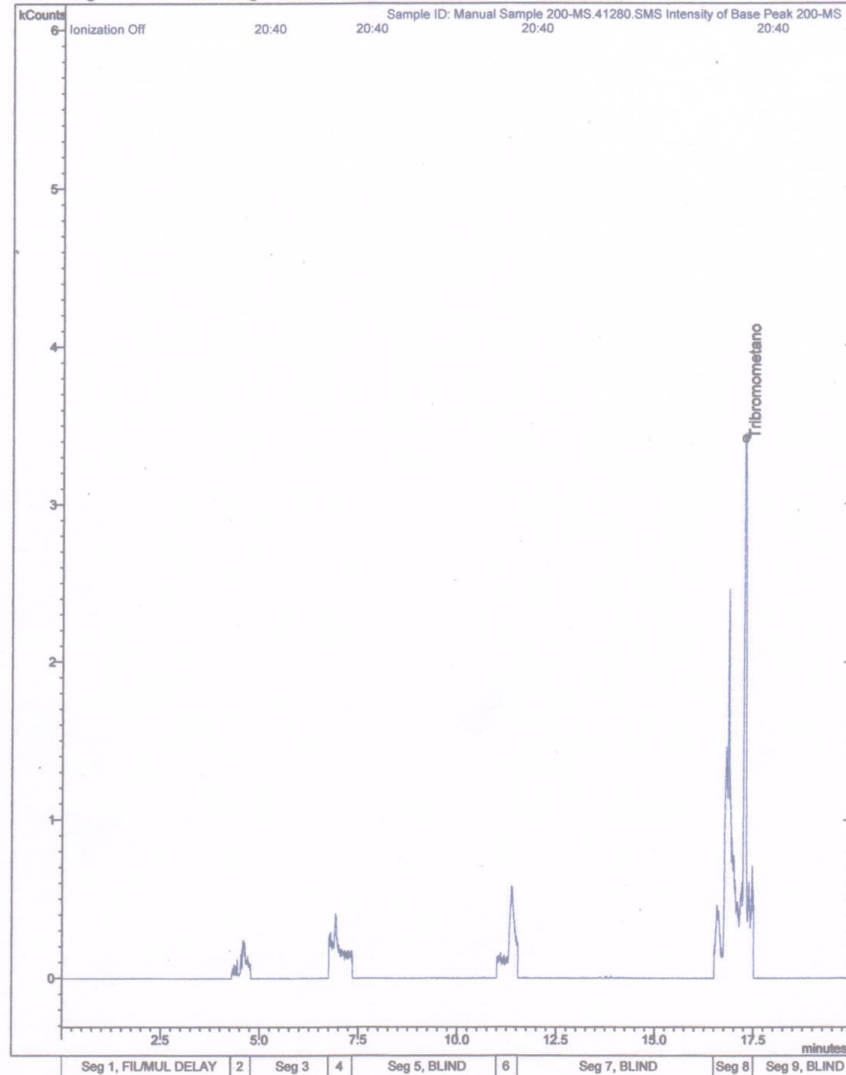
File: c:\varianws\data\200-ms.41280.sms

Sample: Manual Sample

Scan Range: 1 - 3505 Time Range: 0.00 - 19.99 min.

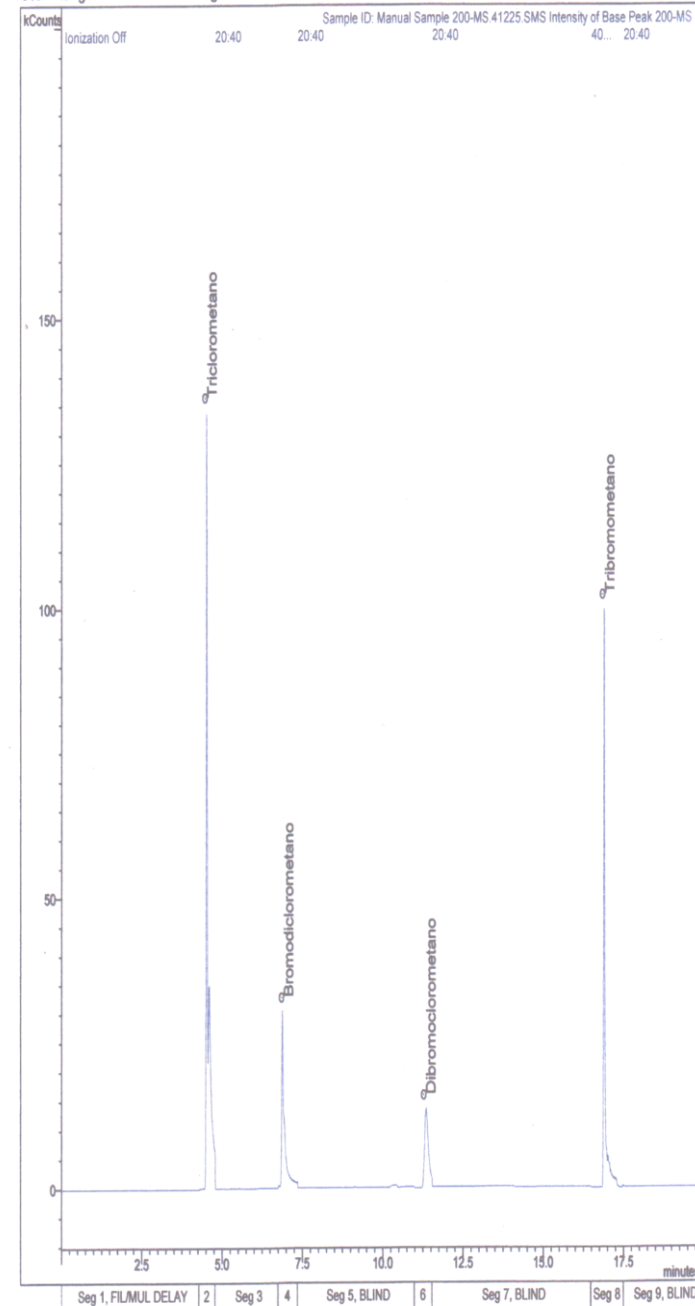
Operator: HMN

Date: 4/27/2013 11:18 AM



Código Muestra	Cloroformo (µg/L) (max permitido 200 µg/L)	Bromodiclorometano (µg/L) (max permitido 60 µg/L)	Dibromoclorometano (µg/L) (max permitido 100 µg/L)	Tribromometano (µg/L) (max permitido 100 µg/L)
LP-001	122,09	8,362	12,089	134,15
LP-002	75,12	6,206	8,015	23,276
LP-003	98,35	7,529	8,808	18,595
LP-004	135,23	7,841	9,474	20,585
LP-005	240,99	24,756	114,511	298,341
LP-006	272,76	22,918	101,771	246,035
LP-007	128	1,446	10,27	28,528
LP-008	37,5	2,36	3,71	8,83
LP-009	72,85	0	0	0
CD-001	373,02	27,531	105,366	244,348
CD-002	505,07	37,768	157,121	368,44
CD-003	355,08	21,703	62,781	117,907
CD-004	407,33	24,045	70,249	125,269
CD-005	5,57	1,446	6,496	9,094
CD-014	40,99	29,09	18,41	48,73
CD-015	0	0	0	2,97
CD-016	100,27	0,48	0	0
CD-017	187,47	0	0	0
CD-019	81,6	20,68	24,05	53,22
CD-020	153,46	4,8	0	0

Concentración de trihalometanos (THM) en las muestras correspondientes a Sistemas de tratamiento completo. En rojo los valores más alto del máximo permitido por Reglamento.



- Los acueductos abastecidos de aguas subterráneas, de 76 subproductos analizados solo uno de ellos superó el valor máximo permitido, no obstante este pertenece a agua superficial..

Código Muestra	Cloroformo (µg/L) (max permitido 200 µg/L)	Bromodichlorometano (µg/L) (max permitido 60 µg/L)	Dibromoclorometano (µg/L) (max permitido 100 µg/L)	Tribromometano (µg/L) (max permitido 100 µg/L)
CD-006	6,08	1,828	3,748	5,699
CD-007	0	1,322	3,064	3,872
CD-008	10,32	1,809	2,729	4,719
CD-009	12,34	1,885	2,712	3,152
CD-010	14,63	2,959	5,187	10,24
CD-011	16,68	3,534	7,856	9,966
CD-012	31,5	2,96	10,94	22,79
CD-013	63,1	24,63	26,62	45,1
CD-018	18,36	16,1	6,68	18,47
NC-001	22,47	4,632	10,234	19,259
NC-002	0	8,442	19,444	26,429
NC-003	0	8,165	19,252	24,459
NC-004	0	0	5,131	11,676
NC-005	0	0	5,637	9,094
NC-006	0	1,46	3,66	4,45
NC-007	0,26	0,4	4,45	5,49
NC-008	0,00	2,19	3,65	24,24
NC-009 (1.6 mg/L)	183,9	294,68	83,4	90,25
NC-010	3,86	45,36	46,54	39,14

Concentración de trihalometanos (THM) en las muestras correspondientes a Sistemas de cloración de Nacientes.

- ◉ *Se encontró gran variación de la presencia de estos subproductos en las muestras de agua de los abastecimientos que corresponden a agua con tratamiento completo (agua superficial tratada).*

- *Se reporta por primera vez la ausencia total de subproductos en cantidades que superen los máximos permitidos en aguas de origen subterráneo correlacionando con menor cantidad de carbono orgánico total, menor cantidad de cloro agregado (cloro combinado) y por ser acueductos más pequeños, menor cantidad de cloro residual.*

- *Se pudo afirmar que la misma se ve favorecida con el aumento de la dosis de cloro (no necesariamente el cloro residual) y el aumento del tiempo de contacto agua-cloro, por cuanto el contenido de THMs a la salida de las plantas de tratamiento se incrementa posteriormente en muchos casos en la red, debido principalmente al mayor tiempo de contacto con la materia orgánica.*

- ◉ *De acuerdo a determinaciones anteriores en muestreos control de agua superficial el promedio de cloro residual de las plantas de tratamiento es de 1.1 a 2,5 mg/L y el de los sistemas de agua subterránea es de 0,6 mg/L.*
- ◉ ≡ *Sistemas de abastecimiento superficiales con cloro residual de aguas subterráneas.*

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se encontró que la aparición de subproductos es intermitente en las aguas muestreadas en un punto específico de sistemas de tratamiento.
- Como medida adoptada por la Municipalidad del Cantón Central de Cartago se disminuyó el cloro agregado en el punto final de su planta de tratamiento y evitar las precloraciones por lo tanto están trabajando actualmente con residuales de 0,8 mg/L mucho menores que los valores anteriores de trabajo de 1,2 mg/L.

- Por el tipo de resultados obtenidos no se encontró relación entre subproductos formados en aguas de nacientes cloradas y el tipo de suelo.

- Valorar otro mix de estándares para otros subproductos mas tóxicos e inestables que está disponible actualmente en el mercado internacional, el EPA 551B Halogenated Volatiles Mix que tiene estándares para los subproductos de: Bromocloroacetoniitrilo, Cloropicrina, Dibromoacetoniitrilo, Tricloroacetoniitrilo, 1-1-Dicloro-2 propanona, 1-1-1-Tricloropropanona.

- En estudios posteriores se recomienda para abastecimientos de agua superficial el seguimiento de subproductos en altas concentraciones en agua almacenada.
- Hacer seguimiento de formación de subproductos en invierno, pues se sabe que el cloro agregado en esa época es mayor.

- Este trabajo se considera relevante en el manejo del agua en Costa Rica por cuanto es la primera vez que se determinan este tipo de subproductos en aguas y se contrastan tipos de agua superficial y subterránea.

- Es importante dimensionar el problema y educar a la población costarricense principalmente los Entes Operadores de Acueductos incluido el Laboratorio Nacional de Acueductos y Alcantarillados con respecto al riesgo de formación de subproductos: entre mas cloro se agregue a las aguas dispensadas, mayor es el riesgo en la formación de SPD.

AGRADECIMIENTOS

- ◉ Al Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- ◉ Centro de Investigación- CEQIATEC
- ◉ Centro de Investigación en Protección Ambiental- CIPA
- ◉ Municipalidad del Cantón Central de Cartago
- ◉ Al Laboratorio Nacional de Aguas

