



Ingeniería y Desarrollo

ISSN: 0122-3461

ingydes@uninorte.edu.co

Universidad del Norte

Colombia

Hernández Cogollo, Miguel Enrique; Marrugo Negrete, José Luis
Trihalometanos y arsénico en el agua de consumo en los municipios de Chinú y Corozal
de Colombia: evaluación del riesgo a la salud
Ingeniería y Desarrollo, vol. 34, núm. 1, enero-junio, 2016, pp. 88-115
Universidad del Norte
Barranquilla, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85244549005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Trihalometanos y arsénico en el agua de consumo en los municipios de Chinú y Corozal de Colombia: evaluación del riesgo a la salud

Trihalomethanes and arsenic in drinking water in Chinú and Corozal municipalities in Colombia: health risk assessment

Miguel Enrique Hernández Cogollo*

Sistema de Universidades Estatales del Caribe, SUE-CARIBE, (Colombia)

José Luis Marrugo Negrete**

Universidad de Córdoba (Colombia)

* Estudiante de Maestría en Ciencias Ambientales, Sistema de Universidades Estatales del Caribe, SUE-CARIBE sede Universidad de Córdoba, (Colombia). Especialista en Gerencia Empresarial, Universidad de Córdoba (Colombia). Ingeniero Civil, Universidad del Sinú (Colombia). Área de Especialidad Agua y Saneamiento Básico. miguel.hernandezco@gmail.com

** Investigador Senior (IS) Director del Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental, Universidad de Córdoba, (Colombia). Coordinador Regional de Maestría en Ciencias Ambientales del Sistema de Universidades Estatales del Caribe, SUE-CARIBE sede Universidad de Córdoba (Colombia). Director del Grupo de Aguas, Química Aplicada, y Ambiental Acreditado en Colciencias, Universidad de Córdoba (Colombia). Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Córdoba (Colombia). Ph. D. en Ciencias Químicas, Universidad del Valle (Colombia). jlmarugon@hotmail.com

Correspondencia: Miguel Enrique Hernández Cogollo. Calle 52A No. 14-44 Urbanización Vallejuelo, Montería, Córdoba (Colombia). Celular +57 - 300 319 7389.

Origen de subvenciones: este artículo se presenta en el desarrollo de la investigación, financiado por Colciencias y la Universidad de Córdoba por el apoyo financiero mediante el proyecto código 111251929083

Resumen

En varios municipios de los departamentos de Córdoba y Sucre, en Colombia, la captación para los sistemas de acueducto se realiza con aguas subterráneas del acuífero de Morroa. La desinfección con cloro gaseoso es el único proceso de desinfección del agua y seguirá siéndolo por muchas décadas, de acuerdo con la empresa prestadora de servicios públicos. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de trihalometanos (THMs) y arsénico (As) en el agua de consumo y el riesgo asociado con la ingesta en la población de Chinú y Corozal. Se midieron variables THMs, As, Carbón Orgánico Total (COT), cloro residual, coliformes fecales y turbiedad, entre otras, en muestras de agua potable y agua almacenada en albercas en épocas de seca y lluvias. Se encontraron correlaciones entre coliformes fecales y THMs en su componente de Cloroformo CHCl_3 , y, entre la turbiedad y la concentración de COT para ambas épocas climáticas y en ambos municipios. En promedio, las concentraciones de turbiedad en invierno, fueron superiores en 0.1 mg/L que en verano. La magnitud del riesgo se calculó a través de la metodología de la EPA, por la Dosis Diaria Promedio Vitalicia (DDPV).

Palabras clave: agua cruda, agua potable, arsénico, trihalometanos, exposición, riesgo.

Abstract

In several municipalities in the departments of Córdoba and Sucre in Colombia, the catchment for water supply systems is performed with groundwater from the Morroa aquifer. Disinfection with chlorine gas is the only water purification process and will remain for many decades according to the company providing public services. This research aimed to assess the concentrations of trihalomethanes (THMs) and Arsenic (As) in drinking water and the determination of associated risk from the intake in the population of Chinú and Corozal. The measured variables in samples of drinking water and pools water stored during dry and rainy seasons were THMs, As, Total Organic Carbon (TOC), residual chlorine, fecal coliform and turbidity, among others. A correlations between fecal coliforms and THMs in its component Chloroform CHCl_3 and between turbidity and TOC concentration were found for the two periods in both municipalities. The average value for turbidity concentrations in winter was higher than 0.1 mg/L those in summer for both municipalities. The magnitude of risk was calculated using the methodology of the EPA, through the Lifetime Average Daily Dose (DDPV).

Keywords: Raw water, Potable Water, Arsenic, Trihalomethanes, Exposure, Risk.

Fecha de recepción: 03 de septiembre de 2014
Fecha de aceptación: 20 de noviembre de 2015

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural fundamental para la vida y en todas sus formas ha sido partícipe en el desarrollo y progreso en los diferentes ciclos históricos de la humanidad. Desde que el hombre percibió su grandeza y la importancia para su sobrevivencia, promovió formas de potabilizarla y ha realizado esfuerzos para llevarla a todas las poblaciones en la que se requiera.

En la actualidad, el proceso de desinfección con cloro gaseoso para tratar el agua, es el más utilizado en el planeta y en especial en Colombia, debido a que permite remover o neutralizar diferentes agentes patógenos como bacterias, virus y protozoarios los cuales han demostrado científicamente que son causantes de enfermedades que afectan seriamente la salud.

En varios municipios de la región sabanera de los departamentos de Córdoba y Sucre, el abastecimiento del agua para los sistemas de acueducto se realiza con aguas subterráneas del acuífero de Morroa que va desde el municipio de Ovejas, atravesando los municipios de Los Palmitos, Corozal, Sincelejo y Sampués del departamento de Sucre, hasta los límites de los municipios de Chinú y Sahagún del departamento de Córdoba [1], [2].

Cada uno de estos municipios cuenta con empresas de carácter oficial y privado para la operación de sus sistemas de acueducto. Todos ellos cuentan con captación de agua del acuífero de Morroa, que son controladas por las Corporaciones Autónomas Regionales Ambientales CAR Sucre y la CVS (Corporación de los Valles del Sinú y San Jorge) [1], [2], orientando sus procedimientos de potabilización a procesos de desinfección con cloro gaseoso, direccionando de esta forma esfuerzos a garantizar el cumplimiento de los parámetros establecidos en el Decreto 1575 del 2007 y la Resolución 2115 del 2007, del Ministerio de Protección Social de la República de Colombia, para ofrecer a la comunidad agua potable con parámetros de calidad sin ningún riesgo para el consumo humano [3].

Debido a que la desinfección es el único proceso de potabilización necesario para tratar el agua cruda captada del acuífero, se torna relevante realizar una investigación que permita evaluar las concentraciones de trihalometanos y la presencia del Arsénico en el agua de consumo como herramienta de medida de evaluación del riesgo de exposición a la salud humana [4].

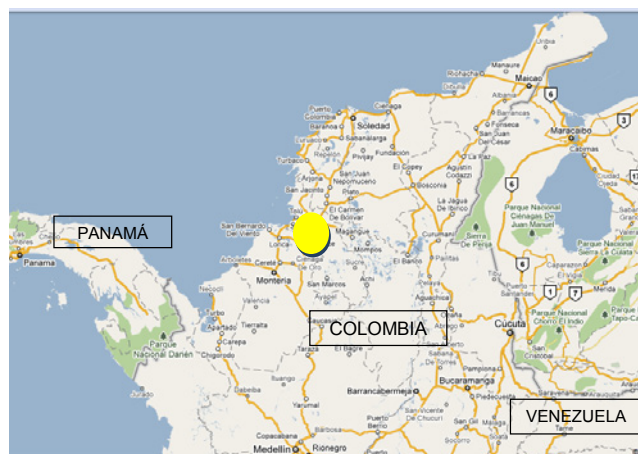


Figura 1. Ubicación general.

Este estudio se centró en los municipios de Chinú y Corozal de la región sabanera de los departamentos de Córdoba y Sucre, debido a que en la región sabanera después de la ciudad Sincelejo, son los municipios que cuentan con mejor servicio y continuidad de agua potable en la región cumpliendo con los parámetros de calidad, a través de procesos de desinfección con cloro gaseoso. De los 26 municipios con los que cuenta el departamento de Sucre, solo Sincelejo y Corozal son los únicos que aplican adecuadamente procesos de desinfección con cloro gaseoso y garantizan potabilización en su sistema de acueducto y distribución del agua que consumen los habitantes[5], por lo tanto, y contextualizando el entorno del déficit de la potabilización del agua en la región, el nivel de detalle y parámetros a analizar en la investigación, la gran relevancia de la misma y los recursos disponibles, se considera adecuada la focalización del estudio en los dos municipios de Chinú y Corozal de esta región.

De igual forma, se tiene en cuenta los niveles de arsénico, elemento químico de reconocida toxicidad, ya que este ingerido en el agua se absorbe casi totalmente, pero se absorbe mucho menos si el vehículo de ingreso es el suelo. El arsénico no está igualmente disponible cuando está absorbido en las partículas de suelo que cuando está disuelto en el agua, en este caso, para ingestas de la misma cantidad de arsénico, una persona tendrá una concentración mayor en sangre cuando el vehículo es el agua potable. La

hidrogeoquímica muestra que los contenidos de Arsénico presentan una fuerte correlación con el carbono orgánico total disuelto [6].

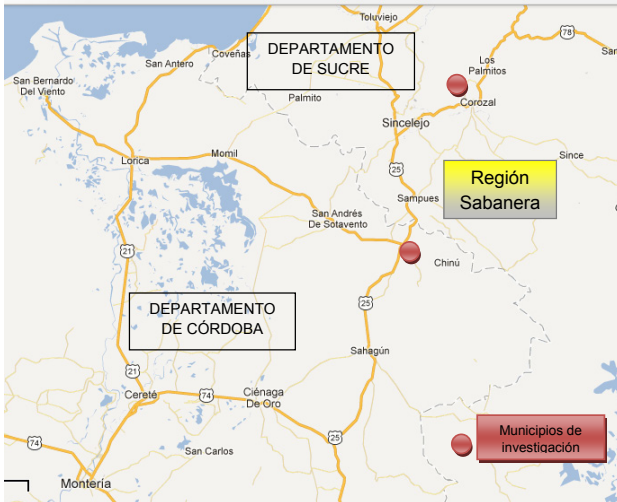


Figura 2. Ubicación específica.

Hay que mencionar que los posibles causantes de exposición a la salud humana de estos componentes, no son estáticos porque dependen de parámetros variables en el espacio y el tiempo, tales como las actividades de la región, el contenido de humedad del suelo, de los cuales unos a su vez dependen de la variabilidad estacionaria del clima y que en rigor deben ser calculados para los diferentes regímenes climáticos que se presentan en la región.

Estudios previos e inclusive investigaciones recientes en la región, puntualmente en la Ciudad de Sincelejo (capital del departamento de Sucre), la cual está a 9 kilómetros del municipio de Corozal y a 21 kilómetros del de Chinú, muestran que existen diferencias en los niveles que se puedan encontrar en trihalometanos a nivel de sistemas de distribución de agua potable, debido a que en los periodos de invierno existe una alta posibilidad de infiltración de agua “externa” hacia las tuberías en momentos de suspensiones del servicio al tener servicio de acueducto con continuidad intermitente. Las diferencias identificadas en esta ciudad, en promedio se encontraron entre $67.4 \mu\text{g/L}$ en comienzos y $265 \mu\text{g/L}$ a finales temporada de lluvias, y el límite establecido como máximo de acuerdo a la Organización Mundial de La Salud (OMS) es de $30 \mu\text{g/L}$. [7].

El Arsénico en las aguas superficiales (ríos, lagos, embalses) y subterráneas (acuíferos) susceptibles de ser utilizadas para consumo, constituye una gran amenaza para la salud. Ello es así, que ha llevado a organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Unión Europea (Directiva 98/83) o la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (USEPA) a establecer la reducción del límite del contenido de arsénico en agua de consumo de 50 a 10 $\mu\text{g/L}$. Hasta hace pocos años, el arsénico no estaba entre los constituyentes que son analizados rutinariamente en las aguas de consumo, por lo que la información sobre su distribución no es tan bien conocida como para otros constituyentes [5]. Para el caso de riesgo a la salud por presencia de arsénico, mediante esta investigación se obtendrá por primera vez una medición real, ya que las autoridades sanitarias departamentales y municipales no lo han incluido dentro de sus panoramas de riesgo.

Debido a todos los cuestionamientos mencionados surge el gran interrogante: ¿cuáles son las concentraciones de trihalometanos y Arsénico en el agua de consumo de la comunidad de los municipios de Chinú y Corozal de la región sabanera de los departamentos de Córdoba y Sucre? ¿Cuál es la medida actual del riesgo a la salud por la ingesta de estos componentes en el agua?

METODOLOGÍA

Ambos municipios Chinú y Corozal, de acuerdo con la empresa operadora del sistema de acueducto, cuentan con cuatro zonas hidráulicas en sus sistemas de redes acueducto [4], por lo tanto, se seleccionaron muestras en cada una, y en ambos municipios se tomaron dos muestras en cada zona hidráulica, tanto sobre el agua potable y agua cruda o almacenamientos internos en las viviendas, y también se tomaron en los mismos puntos seleccionados tanto en temporada de invierno como en verano.

Como a cada elemento de la población se le puede estipular la probabilidad (posibilidad) de que forme parte de la muestra, por lo tanto el muestreo fue de sondeo probabilístico de tipo aleatorio simple aprovechando las distribución espacial de las 4 zonas hidráulicas de los sistemas de acueducto de cada municipio, las cuales cada una tiene similar población abastecida, en promedio unas 1.100 viviendas.

En ambos municipios seleccionados, tanto el agua cruda como el proceso de desinfección es unificado [4], por lo tanto, se considera entredicho que tomando un muestreo exploratorio en sus zonas hidráulicas, se obtendrían los niveles de riesgo como resultado de exposición determinada.

Para el análisis estadístico probabilístico se utilizaron diagramas de cajas o de bigotes (boxplots o box and whiskers), las cuales muestran de forma visual describiendo diversas características importantes, entre otras, como la dispersión, distribución y simetría.

Se realizó recopilación de información disponible de estadísticas de dosificaciones en el proceso de desinfección en las empresas de servicios públicos domiciliario de acueducto, e indagación de estadísticas de enfermedades relacionadas con ingesta del agua de consumo en las secretarías de salud y en el Sisbén.

Se solicitaron los permisos de toma de las muestras ante estas entidades, para que tuvieran conocimiento de la metodología y finalidad de la recolección de la información.

Se midieron variables con muestreos que fueron exploratorios, tomando como referencia estudios realizados de la misma índole y comparándolo con los estándares nacionales e internacionales permitidos en cada parámetro incluido dentro del objeto de la investigación.

El procedimiento de toma de las muestras se realizó de acuerdo con el Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio, que aplica para tal fin [8].

Las muestras de agua tratada se tomaron en los puntos de muestreo tipo grifo conectados directamente a la red distribución, concertados y materializados entre la empresa prestadora del servicio público de acueducto y la entidad sanitaria, que en este caso es la secretaría de salud que aplica en cada municipio, los cuales están consignados como obligatorios en la Resolución 0811 del 2008.



Figura 3. Muestreos.

Las muestras de agua almacenada, se tomaron en tanques internos de almacenamientos o albercas, los cuales son depósitos de volumen de agua que están bajo el suelo, semienterrados o sobre el suelo y de compensación de agua según los hábitos de consumo, en donde se sumergió el recipiente o frasco seleccionado, en el cuerpo de agua a una profundidad de 15 a 30 cm. Estas muestras fueron almacenadas en recipientes de vidrio de 500 ml esterilizados con agua destilada, y se etiquetaron de manera conveniente.

Para evitar rupturas y daños durante el transporte, los recipientes fueron dispuestos verticalmente en neveras de icopor a 4°C con bolsas de hielo o Ice Packs intercaladas para mejor uniformidad en la refrigeración. Fueron transportadas en menos de 24 horas al laboratorio donde se subdividieron los volúmenes recolectados en terreno para aplicar el respectivo preservante dependiendo del análisis de laboratorio a realizar.



Figura 4. Transporte muestras.

Al volumen de agua que se destinó para analizar la concentración de Arsénico se le aplicó como preservante Ácido Nítrico, para los volúmenes en los que se analizó Carbón Orgánico Total se utilizó como preservante Ácido Fosfórico, y para los volúmenes en los que se analizó trihalometanos se aplicó como preservante tiosulfato de sodio, de acuerdo con lo recomendado por el procedimiento de toma de muestra y preservación [8].

Los instrumentos de medición contaron con métodos validados por normas internacionales de los Standard Methods y otras se validaron con laboratorios acreditados bajo la norma ISO/IEC 17025 para que fueran confiables los resultados de las mediciones.

Los THMs se determinaron según el Standard Methods 6232 mediante Cromatografía de gases con detector de captura de electrones, el cual es considerado como el método más sencillo y preciso para este tipo de compuestos y otros disolventes clorados [9].

El As se determinó mediante absorción atómica según el Standard Methods 3114C [36], y el carbón orgánico total se determinó con el Standard Methods 5310C mediante oxidación química con persulfato [10].

El estudio mostró en su componente exploratorio datos de las dosificaciones de cloro gaseoso aplicadas por la empresa de servicios públicos de acueducto de los municipios [4].

Para determinar en laboratorio los parámetros fisicoquímicos como cloro residual se utilizó el método Espectrofotométrico-Fotométrico Standard Methods 4500-ClG, para el Color Aparente el método de comparación visual Standard Methods 2120 B, para el pH el método electrométrico- Standard Methods 4500-H+B, y para la Turbiedad el método nefelométrico- Standard Methods 2130 A y B.

Para analizar los parámetros microbiológicos en el agua como coliformes fecales y *Escherichia coli* se utilizó el método Sustrato Definido- Standard Methods 9223 [11], el cual utiliza sustratos cromogénicos hidrolizables para la detección de enzimas de bacterias coliformes.

Los resultados de las concentraciones de THMs y arsénico se registraron de acuerdo a los valores determinados en los análisis de laboratorio. Se realizó la comparación de las medidas de las concentraciones de THMs entre las diferentes zonas hidráulicas entre las muestras tomadas en las temporadas de lluvias y verano, y posteriormente el comparativo entre los resultados que se identificaron entre los dos municipios. Estas fueron representadas en figuras que mostraron las variaciones entre las estaciones climáticas de verano e invierno. En todos los casos se tomó como nivel de significancia estadística $p=0.05$.

Como medida de referencia se tomaron las concentraciones de THMs y de As, y se compararon con los valores límites establecidos por la EPA y la OMS [3]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) basándose en sus posibles efectos perjudiciales para la salud y en la preocupación por su capacidad cancerígena en el ser humano, establece como valores límites máximos aceptables para el As de 0.01 mg/L o 10 µg/L y para THMs de 30 µg/L en 1985 y posteriormente en el 2008 consideró que podía llevarse hasta 100 µg/L haciendo control en los subproductos derivados [12].

Para el cálculo de la evaluación del riesgo a la salud por la exposición, se tuvo en cuenta la metodología recomendada por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), la cual se encuentra publicada en

el manual “Guía para la Evaluación de Riesgos en el Superfund”, a través de la estimación por (DDPV) Dosis Diaria Promedio Vitalicia [13].

Se tuvieron en cuenta índices de toxicidad y factores de pendiente tanto para el As como para los THMs, obtenidos en el Sistema IRIS (Integrated Risk Information System) [14].

$$DDPV = \frac{(Concentración\ del\ tóxico) \times (Tasa\ de\ contacto) \times (Biodisponibilidad) \times (Duración\ exposición)}{(Masa\ corporal) \times (Periodo\ de\ vida)} \quad (1)$$

Concentración de tóxico: resultados de la concentración determinadas en los muestreos de esta instigación, límite superior de confianza percentil 95 del promedio de las concentraciones contactadas durante el período de exposición. mg/L tóxico.

Tasa de Contacto: volumen de consumo o ingesta diaria, 2 L/día. Límite superior de confianza percentil 95 del promedio, valor recomendado por la EPA.

Biodisponibilidad: 0.7 (significa que el 70% de lo que se ingiere se absorbe).

Duración exposición: valor sugerido por la EPA para el tiempo que dura expuesto al tóxico en años un individuo en su vida.

Masa corporal: peso promedio de una persona en kilogramos.

Periodo de Vida: días de vida promedio que tiene de vida una persona. Recomendado por la EPA 70 años.

Cálculo del Coeficiente de Peligro:

$$CP = \frac{DDPV}{DdRco} \quad (2)$$

DdRco: es el índice de toxicidad más utilizado para evaluación de riesgos por exposición

Cálculo del Riesgo de Cáncer:

$$Crc = DDPV \times SF \quad (3)$$

SE: factor de pendiente para exposición oral disuelto en agua.

Para la cuantificación estimada y valoración de riesgo de cáncer por exposición oral, la EPA establece la siguiente escala de consideraciones, de acuerdo al Extrapolation Method Time- and dose-related Formulation of the Multistage Model desarrollado en 1988 [15]:

Drinking Water Concentrations at Specified Risk Levels:

Risk Level	Consideration
E-4 (1 in 10,000)	High
E-5 (1 in 100,000)	Medium
E-6 (1 in 100,000)	Low

Este método de extrapolación entre el coeficiente de peligro y el cálculo del riesgo, valora dependiendo con los resultados el riesgo por exposición en la escala alto, medio y bajo.

RESULTADOS

En todas las figuras aquí relacionadas, los trihalometanos y el arsénico están en $\mu\text{g/L}$, la turbiedad en NTU y las demás unidades están en mg/L . Los puntos denominados 2 y 5 ubicados en todas las figuras son muestras de agua cruda o almacenada interna, los puntos denominados 1, 3 y 4 son muestras de agua potable.

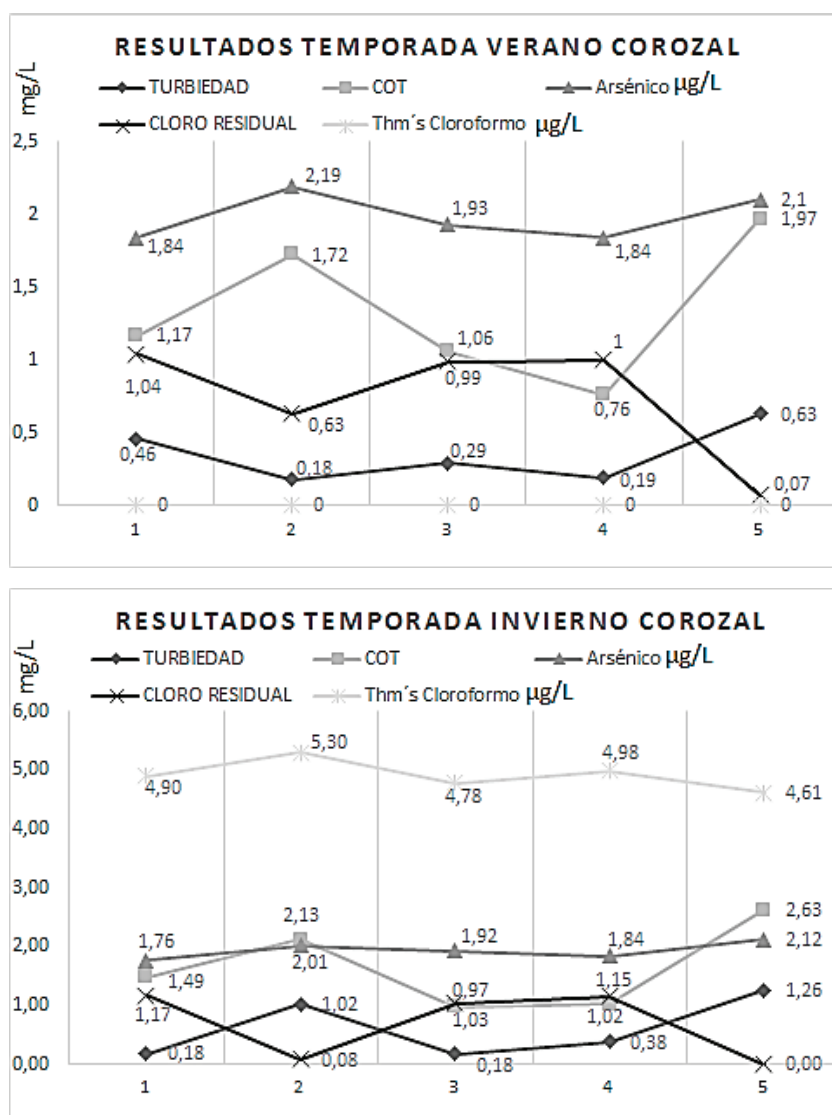


Figura 5. Resultados temporadas climáticas municipio de Corozal - Sucre.

El valor promedio de las concentraciones de cloro residual en los puntos de agua potable analizados en el municipio de Corozal fue de 1.1 mg/L, y en el municipio de Chinú fue de 0.6 mg/L; sin embargo, en ambos municipios en los puntos de agua cruda o almacenamientos internos de las viviendas analizadas los valores del cloro residual fueron casi nulos.

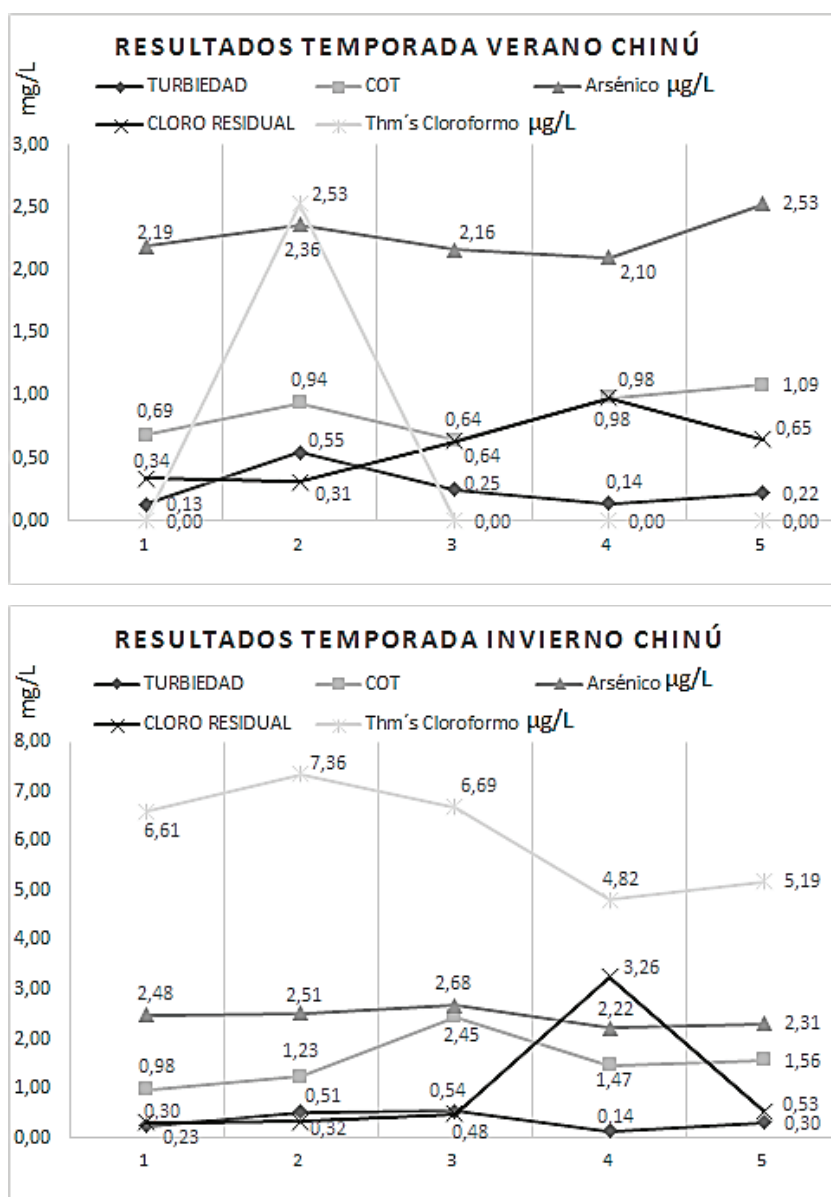


Figura 6. Resultados temporadas climáticas municipio de Chinú - Córdoba.

Como se puede observar en las Figuras 5 y 6, En promedio las concentraciones de turbiedad fueron similares en el agua potable en ambas temporadas

climáticas, sin embargo en el agua cruda o almacenada las turbiedades en la temporada invernal fueron mayores en ambos municipios.

Se mostró una correlación (r) entre la turbiedad y la concentración de carbono orgánico total en las dos temporadas climáticas en ambos municipios. En las muestras del municipio de Chinú se encontró una asociación lineal estadísticamente significativa, moderada, directamente proporcional y con niveles de significancia adecuados de ($r = 0.33$, $p = 0.015$) en verano y ($r = 0.53$, $p = 0.0054$) en invierno, y en el municipio de Corozal de ($r = 0.53$, $p = 0.007$) en verano y ($r = 0.92$, $p = 0.0018$) en invierno.

De igual forma, se mostró correlación lineal entre carbono orgánico total y la concentración de Arsénico en las aguas crudas o almacenadas y potables analizadas en la investigación. En las muestras del municipio de Chinú se presentó ($r = 0.61$, $p = 0.00004$) en verano y ($r = 0.47$, $p = 0.0153$) en invierno, y en el municipio de Corozal de ($r = 0.88$, $p = 0.017$) en verano y ($r = 0.78$, $p = 0.036$) en invierno.

En promedio las concentraciones de carbón orgánico total en la temporada invernal, fue levemente superior + 0,4 mg/L que la de verano en los dos municipios como se puede observar en la Figura 7.

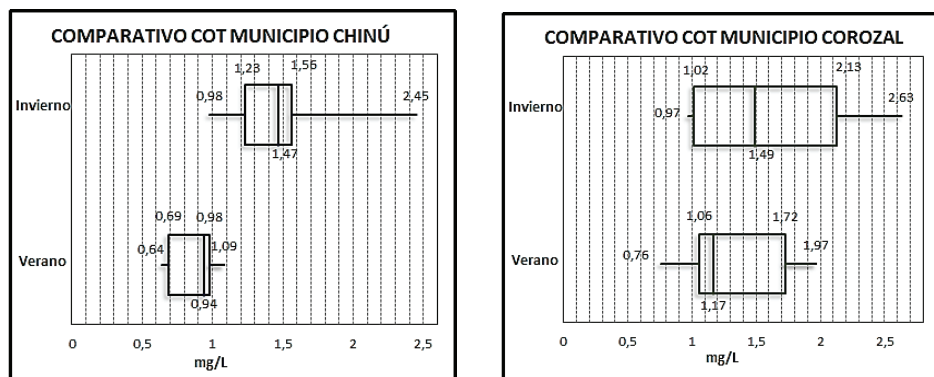


Figura 7. Comparativos COT entre temporadas climáticas.

En promedio las concentraciones de COT fueron superiores en el agua cruda o almacenada que las del agua potable.

En promedio las concentraciones de arsénico fueron muy similares tanto en la temporada invernal como en la de verano en los dos municipios como se ilustra en la Figura 8.

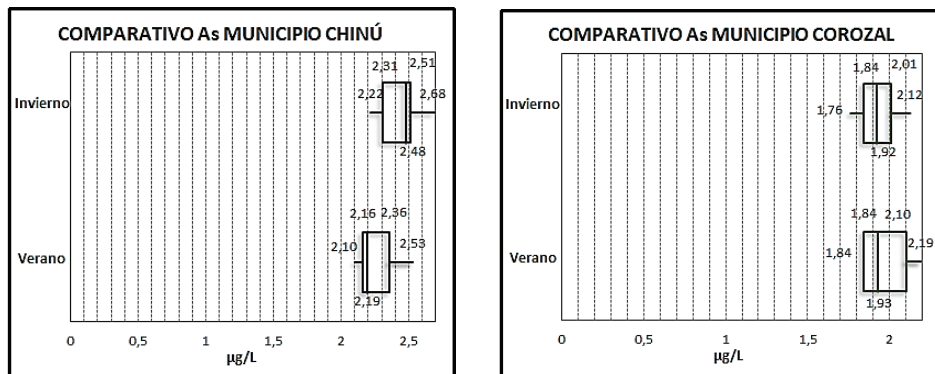


Figura 8. Comparativos As entre temporadas climáticas.

Las concentraciones de trihalometanos en su componte de Cloroformo CHCl_3 en la temporada invernal, es superior que la de verano en los dos municipios, como se puede observar en la Figura 9.

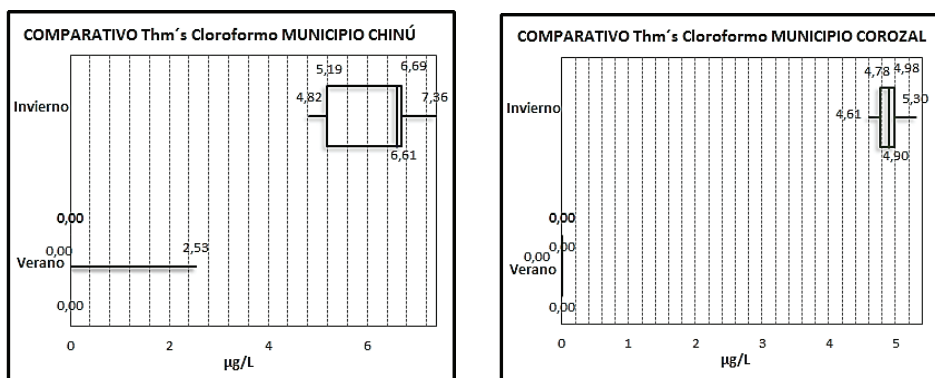


Figura 9. Comparativos THMs cloroformo entre temporadas climáticas.

Se identificó que en temporada de invierno donde las concentraciones de THMs son mayores que en verano, se identificó que en el agua potable dichas concentraciones de THMs son superiores en el municipio de Chinú-Córdoba que en el municipio de Corozal-Sucre.

En agua cruda o almacenada se identificó que en el municipio de Corozal el 33% de las muestras presentó presencia de Coliformes Fecales, mientras que en Chinú el 83% mostró presencia de este agente patógeno bacteriano.

Evaluación del riesgo

Se tienen en cuenta parámetros y factores de referencia, tanto para el As como para los THMS obtenidos en el Sistema IRIS (Integrated Risk Information System) [14].

Los resultados de la evaluación del riesgo por componente analizado (As y THMS) se muestran en las Tablas 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1. Evaluación del Riesgo de Arsénico por ingesta de agua en el municipio de Corozal

Concentración del tóxico en la vía de exposición	0,00219 mg/L As
Tasa de contacto:	2 L/día
Biodisponibilidad	70%
Duración de la exposición:	70 años
Msa corporal:	70 Kg
Período de vida:	70 años
DDPV de As por ingesta de agua:	1,20E-07 mg/Kg*día
DdRco:	3,00E-04 mg As/Kg x día
SF, factor pendiente para exposición oral disuelto en agua:	1,5 (mg/Kg)/día
Cálculo de Coeficiente de Peligro	
DDPV/DdRco=	4,00E-04
Cálculo del Riesgo de cancer DDPV x SF:	1,80E-07

Tabla 2. Evaluación del riesgo de arsénico
por ingesta de agua en el municipio de Chinú

Concentración del tóxico en la vía de exposición	0,00268 mg/L As
Tasa de contacto:	2 L/día
Biodisponibilidad	70%
Duración de la exposición:	70 años
Msa corporal:	70 Kg
Periodo de vida:	70 años
DDPV de As por ingesta de agua:	1,40E-07 mg/Kg*día
DdRco:	3,00E-04 mg As/Kg x día
SF, factor pendiente para exposición oral disuelto en agua:	1,5 (mg/Kg)/día
Cálculo de Coeficiente de Peligro	
DDPV/DdRco=	4,89E-04
Cálculo del Riesgo de cancer DDPV x SF:	2,20E-07

Tabla 3. Evaluación del riesgo de Trihalometanos
por ingesta de agua en el municipio de Corozal

Concentración del tóxico en la vía de exposición	4,9142 µg/L Thm's
Tasa de contacto:	2 L/día
Biodisponibilidad	70%
Duración de la exposición:	70 años
Msa corporal:	70 Kg
Periodo de vida:	70 años
DDPV de Thm's por ingesta de agua:	2,69E-07 mg/Kg*día
DdRco:	1,00E-02 mg Thm's/Kg x día
SF, factor pendiente para exposición oral disuelto en agua:	1,5 (mg/Kg)/día
Cálculo de Coeficiente de Peligro	
DDPV/DdRco=	2,69E-04
Cálculo del Riesgo de cancer DDPV x SF:	4,04E-06

Tabla 4. Evaluación del Riesgo de Trihalometanos por ingesta de agua en el municipio de Chinú

Concentración del tóxico en la vía de exposición	6,134 µg/L Thm's
Tasa de contacto:	2 L/día
Biodisponibilidad	70%
Duración de la exposición:	70 años
Msa corporal:	70 Kg
Período de vida:	70 años
DDPV de Thm's por ingesta de agua:	3,36E-06 mg/Kg*día
DdRco:	1,00E-02 mg Thm's/Kg x día
SF, factor pendiente para exposición oral disuelto en agua:	1,5 (mg/Kg)/día
Cálculo de Coeficiente de Peligro	
DDPV/DdRco=	3,36E-04
Cálculo del Riesgo de cancer DDPV x SF:	5,04E-06

DISCUSIÓN

Las redes del sistema de acueducto del municipio de Corozal presentan mejores condiciones de infraestructura y mantenimiento que las del municipio de Chinú, deducida desde el punto de vista que en promedio las turbiedades son más bajas en este municipio en las temporadas invernales. De todas formas, en ambos se cumple lo establecido como permitido en la Resolución 2115 del 2007.

A diferencia de lo identificado por Krasner [16], donde analizó los datos de 35 muestras en Estados Unidos y encontró que la formación de THMs fue mayor en verano que en invierno, deduciendo que las bajas temperaturas en el invierno sugieren una menor reactividad y una baja velocidad de producción de productos finales como los THMs, en esta investigación se mostró un efecto contrario donde se identificó que en promedio las concentraciones de trihalometanos en su componente de Cloroformo CHCl_3 en la temporada invernal, es superior que la de verano en los dos municipios analizados. En

los otros 3 componentes, es decir bromodichlorometano, clorodibromometano y bromoformo, los resultados en su mayoría fueron nulos.

En promedio en temporada de invierno donde las concentraciones de THMs son mayores que en verano, se identifica que en el agua potable dichas concentraciones de THMs son superiores en el municipio de Chinú-Córdoba que en el municipio de Corozal-Sucre.

Este efecto contrario presentado en las temporadas climáticas de la investigación respecto a lo identificado por Krasner [16], tendría justificación en que las temperaturas en esta región sabanera de los departamentos de Córdoba y Sucre son muy estables, a diferencia de las estaciones climáticas de Estados Unidos, y en esta región de Colombia en temporadas invernales los niveles freáticos son muy altos, lo cual tornaría como parámetro de potencialización de formación de THMs no solo las temperaturas climáticas, sino también los niveles de COT y materia orgánica que se infiltra a las redes de distribución muy antiguas, generando agentes patógenos que requieren mayores niveles de aplicación de cloro gaseoso como método de desinfección.

A pesar de que las concentraciones de cloro residual y COT son mayores en el agua potable del municipio de Corozal, la formación de THMs es mayor y se potencializa en el agua de los almacenamientos internos en las viviendas que utilizan para su consumo en el municipio de Chinú, esto debido a que la comunidad de Corozal realiza mejor mantenimiento y adecuación a sus sistemas internos de almacenamiento. Lo anterior identificado mediante el muestreo de agua almacenada de la presente investigación, dado a que en el municipio de Corozal solo el 33% las muestras presentaron presencia de Coliformes Fecales, mientras que en Chinú el 83% mostró presencia de este agente patógeno bacteriano, cuantificando presencia de materia orgánica potencializando la reacción con el desinfectante.

Esto es acorde con lo identificado por Arboleda [17], donde identificó que los factores que tienen mayor incidencia son la concentración y las características de la materia orgánica. Primero, un incremento en la concentración de materia orgánica aumenta el nivel de precursores de THMs, y esto aumenta la formación de los mismos. Además, un incremento en la concentración de materia orgánica, incrementa la demanda de cloro en el agua. Una alta dosis de cloro va a ser necesaria para mantener un apropiado valor de cloro

residual en el sistema de distribución. Esta alta dosis de cloro contribuye a la rápida formación de THMs [17].

Al igual que lo relacionado por Koch y Singer [17], donde indicaron que la concentración de THMs crece rápidamente durante las primeras horas, Xie [17] también reportó que los THMs, aumentan su formación al aumentar el tiempo de reacción. Estos investigadores encontraron que la existencia de una cinética de formación de THMs no uniforme, que se puede dividir en dos etapas, siendo la primera mucho más rápido que la segunda. El tiempo de reacción que divide ambas etapas es variable según los casos, dependiendo fundamentalmente de la naturaleza de la materia orgánica precursora y de las condiciones de cloración. En esta investigación se identificó que las concentraciones de cloro residual son muy estables y en los puntos de agua potable analizadas en el municipio de Corozal están en promedio en 1,1 mg/L, y en el municipio de Chinú está en 0,6 mg/L. Es decir, que debido a que nos son muy amplias en longitud las redes de distribución, 37 km para el caso del municipio de Chinú y 90 km para el municipio de Corozal, los tiempos de reacción son cortos inferiores a una hora, lo cual minimizaría la complejidad de reacción con la materia orgánica; sin embargo, los muestreos mostraron que en los almacenamientos internos de las viviendas el caso es diferente, ya que la comunidad en su cultura de almacenar el agua y a su inadecuado mantenimiento, permite grandes tiempos de reacción con materia orgánica y promueve la formación de los THMs.

Teniendo en cuenta la afirmación de Twidwell [6], acerca de que la desorción del arsénico está condicionada por los cambios en pH, la ocurrencia de reacciones redox (reducción/oxidación), la presencia de iones competitivos, y los cambios en la estructura cristalina de la fase sólida; Por este motivo fue medido este parámetro de pH en la presente investigación con fines de correlacionarlo con la presencia de arsénico en el área objeto. Sin embargo, se presentaron valores de pH muy estables entre el global del muestreo, ya que estuvieron en el rango entre 8.3 y 8.7.

El As identificado mostró promedios de 2.26 $\mu\text{g/L}$ en verano y 2.44 $\mu\text{g/L}$ en invierno en municipio de Chinú, y de 1.9 $\mu\text{g/L}$ tanto en verano como en invierno en el municipio de Corozal, lo cual está acorde a lo relacionado por Finkelman, Corey y Calderón [18], donde mencionaron que muchos

compuestos arsenicales son solubles en el agua y por eso puede producirse la contaminación del agua.

Municipio de Corozal del departamento de Sucre (Colombia)

En este municipio con respecto a la evaluación del riesgo por ingesta de Arsénico se identificó:

- El riesgo de efectos no cancerígenos es aceptable puesto que el valor del coeficiente de peligro es menor que uno.
- La dosis suministrada en el sitio es menor que la dosis permitida para ingesta en agua por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para un nivel de riesgo de cáncer de 1 en un millón. Referencia máxima 0.01 mg/L o 10 µg/L de As.
- El incremento de la probabilidad de que se produzca cáncer por exposición oral a Arsénico es mayor que 1 en diez millones. El riesgo se considera bajo.

La evaluación por ingesta de trihalometanos en este municipio determinó que:

- El riesgo de efectos no cancerígenos es aceptable puesto que el valor del coeficiente de peligro es menor que uno.
- La dosis suministrada en el sitio es menor que la dosis permitida para ingesta en agua por la OMS para un nivel de riesgo de cáncer de 1 en un millón. Referencia máxima 30 µg/L THMs.
- El incremento de la probabilidad de que se produzca cáncer por exposición oral a trihalometanos es mayor que 4 en un millón, pero menor a 1 en cien mil. El riesgo se considera entre medio y bajo, por lo tanto se deben tomar medidas de prevención.

Municipio de Chinú del departamento de Córdoba (Colombia)

En este municipio la evaluación del riesgo por ingesta de arsénico presentó:

- El riesgo de efectos no cancerígenos es aceptable puesto que el valor del coeficiente de peligro es menor que uno.
- La dosis suministrada en el sitio es menor que la dosis permitida para ingesta en agua por la OMS para un nivel de riesgo de cáncer de 1 en un millón. Referencia máxima 0.01 mg/L o 10 µg/L de As.
- El incremento de la probabilidad de que se produzca cáncer por exposición oral a Arsénico es mayor que 2 en diez millones. El riesgo se considera bajo.

La evaluación por ingesta de Trihalometanos en este municipio determinó que:

- El riesgo de efectos no cancerígenos es aceptable puesto que el valor del coeficiente de peligro es menor que uno.
- La dosis suministrada en el sitio es menor que la dosis permitida para ingesta en agua por la OMS para un nivel de riesgo de cáncer de 1 en un millón. Referencia máxima 30 µg/L THMs.
- El incremento de la probabilidad de que se produzca cáncer por exposición oral a trihalometanos es mayor que 5 en un millón, pero menor a 1 en cien mil. El riesgo se considera entre medio y bajo, por lo tanto, se deben tomar medidas de prevención

CONCLUSIONES

Debido a que en promedio las concentraciones de arsénico son muy similares tanto en la temporada invernal como en la de verano, se muestra que existe presencia de este elemento extremadamente tóxico para la salud en el agua de consumo debido a las acciones agroquímicas y ganaderas realizadas en la región, aunque queda claro que la magnitud de la biodisponibilidad del mismo dependerá de las medidas preventivas que se tomen en cada región.

Se identifica que si en la región existen importantes infiltraciones externas en el sistema de redes abastecimiento, es muy probable que en las temporadas de invierno se presentara un incremento en la concentración de materia orgánica, lo cual potencializará la presencia de agentes patógenos

como coliformes fecales, los cuales inducen a que se requiera incrementar las dosis del cloro gaseoso u otro medio de desinfección, promoviendo el incremento de la formación de THMs y generando un riesgo probabilístico de cáncer en estas poblaciones.

Para estos municipios de esta región de Colombia, se identifica un probabilidad de riesgo de que se produzca cáncer por exposición oral de THMs, considerado entre medio y bajo, por lo tanto se deben tomar medidas de prevención, y por exposición oral de Arsénico el riesgo es considerado bajo.

En Colombia los parámetros de las concentraciones de cloro aplicados para potabilizar el agua son muy estables, y los municipios objetos a esta investigación no son la excepción, sin embargo en ciudades donde las redes de distribución no son muy amplias en longitud las redes de distribución, los tiempos de reacción son cortos inferiores a una hora, lo cual minimiza la complejidad de reacción con la materia orgánica para la formación de los THMs, pero se concluye que en los almacenamientos internos de las viviendas el caso es diferente, ya que la comunidad en su cultura de almacenar el agua y a su inadecuado mantenimiento, permite grandes tiempos de reacción con materia orgánica y promueve la formación de los THMs, y puede subir de bajos a altos los niveles de riesgo de que se produzca cáncer por exposición oral o ingesta en las comunidades que presenten este tipo de condiciones.

La preocupación de la OMS (Organización Mundial de la Salud) respecto a los riesgos de cáncer por agua de consumo es adecuada, aunque el impacto del arsénico y los trihalometanos sobre la salud pública no es aún ciento por ciento conocido en cuanto a su magnitud y tiempo de afectación; sin embargo, no existe la menor duda que estos elementos representan una amenaza para la población al ingerirse en altas concentraciones y en consecuencia, su determinación y valoración debe incluirse en todos los programas de vigilancia y en todas las actividades de monitoreo de la calidad del agua de consumo.

De todas formas los beneficios reales para ambiente la gestión ambiental y la salud pública, en especial los de mayor impacto y largo plazo, no salen a relucir inmediatamente al construirse por el estado los sistemas de abastecimiento de agua como plantean algunos gobiernos al sumarse a campañas mundiales como la promovida por la OMS, estos deben acompañarse

con programas de educación sanitaria y gestión social, que promuevan los cambios de actitud hacia los servicios suministrados por los prestadores y/o operadores de servicios públicos, y la mejora en los hábitos de higiene, saneamiento de los almacenamientos internos en las casas y uso inteligente del agua por parte de la comunidad en sus viviendas, ya que con la suma conjunta y sinérgica del avance preventivo de estos tres actores (Estado+prestador+comunidad) se contribuiría un efectivo impacto positivo en el agua final que se consume y se logren reducir los niveles de riesgo de cáncer por ingesta.

REFERENCIAS

- [1]. Carsucre y Finaguas, *Sistema de Información para la Gestión del Recurso hídrico en el Acuífero de Morroa (SIGAS)*. Sincelejo, Colombia: Carsucre, 2001, pp. 100.
- [2]. J. Buitrago y L. Donado, "Evaluación de las condiciones de explotación del agua subterránea en la zona de recarga del acuífero Morroa, departamento de Sucre y Córdoba (Colombia)", *Tesis de grado Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá, Colombia, 2000, pp. 6.
- [3]. República de Colombia. "Por medio del cual se señalan las características, Instrumentos Básicos y frecuencias del Sistema de Control y Vigilancia del Agua Para Consumo Humano". *Ministerio de Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115*. Bogotá, Colombia, 2007.
- [4]. Empresa Aguas de la Sabana ADESA SA ESP, "Suministro de servicio de agua potable e informes de Calidad de Agua distribuida". *Gerencia Técnica*. Sincelejo, Colombia, 2013.
- [5]. INS Instituto Nacional de Salud. (2013, diciembre). Investigación, Vigilancia, Producción y Redes en Salud Pública. Reportes de Control de Vigilancia municipal y departamental. [Online]. Available: <http://www.ins.gov.co/sivicap/Paginas/sivicap.aspx>.
- [6]. J. Lillo, "Peligros geoquímicos: Arsénico de origen natural en las aguas". *GEMM Grupo de Estudios de Minería y Medioambiente*. España, 2008.
- [7]. J. Vidal, P. Caro, J. Marrugo, y H. Ávila. "Trihalometanos en el suministro intermitente agua potable en la ciudad de Sincelejo, Colombia". *Facultad de Educación y Ciencias, Universidad de Sucre*. Sincelejo, Colombia, 2007.
- [8]. INS Instituto Nacional de Salud. (2011, July). Manual de Instrucciones para la Toma, Preservación y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio. [Online]. Disponible: <http://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacion/Manual%20instrucciones%20toma,%20>

preservaci%C3%B3n%20y%20transporte%20de%20muestras%20agua.pdf.
Bogotá, Colombia.

- [9]. APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater. Part 6232*. Ed. American Public Health Association, Washington DC, 2010.
- [10]. APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater. Part 5310-C*. Ed. American Public Health Association, Washington DC, 2000.
- [11]. APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater. Part 9223*. Ed. American Public Health Association, Washington DC, 2004.
- [12]. OMS. "Guía para la calidad del agua" *Organización Mundial de La Salud*. Ed. 3ra. Génova, Suiza, 2008
- [13]. C. Peña, D. Carter, and F. Ayala-Fierro. Toxicología Ambiental "Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental", *Southwest Hazardous Waste Program, The University of Arizona*. Anexo número 6. Arizona, USA, 2001.
- [14]. EPA US Environmental Protection Agency. (2014, July) Integrated Risk Information System (IRIS), A-Z List of Substances. [Online]. Available: http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList&list_type=alpha
- [15]. EPA US Environmental Protection Agency. (2013, September) Manual Guía para la Evaluación de Riesgos en el Superfund. [Online]. Available: <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>
- [16]. C.M. Villanueva, M. Kogevinas y J.O. Grimalt. "Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga". *Departamento de Química Ambiental*. Ed. Gaceta Sanitaria Vol.15 no.1. Barcelona, España, 2001, pp. 48-53. doi: [10.1016/S0213-9111(01)71517-8]
- [17]. J. Arboleda. "Subproductos de desinfección trihalometanos", *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá: Ed. Editorial Mc-Graw Hill 3ra ed, 2000.
- [18]. J. Finkelman, G. Corey, y R. Calderón, "Epidemiología Ambiental, Un proyecto para América Latina y El Caribe", *in conf. OMS*, Ginebra, Suiza, 1994.
- [19]. Ministerio de Desarrollo Económico. "Sección II título F. Sistemas de aseo urbano" in *RAS Reglamento Técnico de Aguas y Saneamiento Básico*. Bogotá, Colombia, 2000.
- [20]. Ministerio de Desarrollo Económico. "Sección II título B. Sistemas de acueducto" in *RAS Reglamento Técnico de Aguas y Saneamiento Básico*. Bogotá, Colombia, 2000.
- [21]. D. R. Prieto, "Modelación matemática de las concentraciones de THMs en la red matriz del acueducto de Bogotá". *Universidad de Los Andes*. Bogotá, Colombia, 2004.

- [22]. A. Sarmiento, M. Rojas, E. Medina, C. Oliveta, y J. Casanova. "Investigación de trihalometanos en agua potable del Estado Carabobo, Venezuela", *Centro de Investigaciones Toxicológicas de la Universidad de Carabobo (CITUC). Escuela de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Sanitaria*. Valencia, Venezuela, 2003. doi: [10.1590/S0213-91112003000200008]
- [23]. República de Colombia, "Normas técnicas de calidad del agua potable", *Ministerio de Protección Social, Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial*. Decreto 1575. Bogotá, Colombia, 2007.
- [24]. S. Williams y Wilkins. *Diccionario de ciencias médicas*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2008.
- [25]. S. Vega. "Evaluación Epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales", *in conf. OPS/OMS*, Washington D. C, 1985.
- [26]. M. Pereira, and N. Nefussi. "Aspectos Toxicológicos de Agentes Químicos de Interés para el programa Internacional de seguridad de las Sustancias Químicas", *Centro Panamericano de ecología humana y salud*. México: Metepec, 1986.
- [27]. OPS. "Arsenic Public under the joint sponsorship of the United Nations Environmental Programme", *International Programme on Chemical Safety*. Geneva: OPS, WHO, 1998.
- [28]. H. Bidó. "Medio ambiente de la isla de Santo Domingo: principios, fundamentos y enfoques para el control de la contaminación", Santo Domingo: Universidad Central del Este, 2009.
- [29]. GEO. (2003). "Un proyecto para América Latina y El Caribe, perspectivas del medio ambiente", *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe (PNUMA/ORPALC)*. Ciudad de Panamá, Panamá, 2012.
- [30]. D. Morgan. "Diagnóstico y tratamiento de los envenenamientos por plaguicidas", *University of Iowa College of Medicine, OPS/OMS*. (1995) Ed. 4ta. Washington DC, 1995.
- [31]. J . Bundschuh , M . A . Armienta , P . Birkle , P . Bhattacharya, J . Matschullat y A . B . Mukherjee. "Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America". 2008.
- [32]. D. Morgan. "Diagnóstico y tratamiento de los envenenamientos por plaguicidas", *University of Iowa College of Medicine, OPS/OMS*. Ed. 1ra. Washington DC, 1989.
- [33]. R. Basalt. "Biological Monitoring Methods for Industrial Chemicals", *Bio-medical Publications*. Ed. 1ra. Richmond, CA 94802 USA, 2006. doi: [10.1002/jat.2550010614]

- [34]. EPA US Environmental Protection Agency. "Evaluación y manejo de riesgos: Sistema para la toma de decisiones", *Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, ECO/OPS*. México, 1996.
- [35]. L. Hoban. "Agua sin Arsénico para todos", Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2010.
- [36]. G. Wang, y T. Ya-ChenDeng. "Cancer risk assessment from trihalomethanes in drinking water", Taipei: Department of Public Health, National Taiwan University, 2008.
- [37]. C. Villegas. "Evaluacion de la Formación potencial de trihalometanos y trihalometanos en Agua potable, usando microextracción en Fase Sólida Como Método de Extracción". *Tesis Magistral, Universidad de los Andes*. Bogotá, Colombia, 2005.
- [38]. M. Rodriguez, y J. Y. Vinette. "Trihalomethanes in drinkingwater of greater Québec Region (canada): occurrence, variations and modeling". Québec: Départementd'Aménagement, Université Laval, Université Laval., 2002. doi: [10.1023/a:1025811921502]
- [39]. R. RahnamaKozani, Y Assadi, F. Shemirani, M. MilaniHosseini, y M. Jamali. "Determination of Trihalomethanes in Drinking Water by Dispersive Liquid-Liquid Microextraction then Gas Chromatography with Electron-Capture Detection", *Department of Chemistry, University of Payame Noor*. Sari, Iran, 2007. doi: [10.1365/s10337-007-0226-6]
- [40]. APHA. *Standard Methods for the examination of water and wasterwater. Part 3114-C*. Washington DC: Ed. American Public Health Association, 1998.
- [41]. A. Galetovic, y N. de Fernicola. "Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública", *Departamento de Toxicologia e Análises Toxicológicas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo*. Ed. Revista Brasileira Científica, vol. 39, n°. 4. São Paulo, Brasil, 2003. doi: [10.1590/S1516-93322003000400003]