

ARTÍCULO ORIGINAL

## Inspección preliminar de algunas características de toxicidad en el agua potable domiciliaria, Bogotá y Soacha, 2012

Elizabeth Silva<sup>1</sup>, María Elsa Villarreal<sup>1</sup>, Omayda Cárdenas<sup>1</sup>, Carlos Armando Cristancho<sup>1</sup>, Carmenza Murillo<sup>2</sup>, Manuel Alberto Salgado<sup>3</sup>, Gerardo Nava<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Salud Ambiental "Jaime Eduardo Ortiz Varón", Dirección de Redes en Salud Pública, Instituto Nacional de Salud, Bogotá, D.C., Colombia

<sup>2</sup> Grupo de Calidad del Agua, Dirección de Redes en Salud Pública, Instituto Nacional de Salud, Bogotá, D.C., Colombia

<sup>3</sup> Área de Ciencias Básicas, Corporación Unificada Nacional de Educación Superior, CUN, Bogotá, D.C., Colombia

**Introducción.** La distribución y el almacenamiento del agua después de su potabilización, pueden originar cambios significativos en su calidad, por lo que es necesario conocer las características finales del agua domiciliaria que consumen los usuarios.

**Objetivo.** Evaluar de forma preliminar las sustancias químicas tóxicas en el agua de tanques y grifos de viviendas abastecidas por el acueducto de Bogotá.

**Materiales y métodos.** Se hizo un estudio descriptivo en 26 viviendas localizadas en Bogotá y Soacha. Se hicieron dos muestreos: uno en época de lluvias y otro en temporada seca, y en ambos se aplicó una encuesta y se recolectaron muestras de agua de los tanques de almacenamiento y los grifos. Las muestras se sometieron a ensayos fisicoquímicos básicos, a una prueba de tamización de sustancias orgánicas e inorgánicas, y a pruebas de determinación de metales pesados y de residuos de plaguicidas organofosforados y carbamatos.

**Resultados.** La conductividad, el color y los nitratos presentaron valores permisibles; el pH y la turbiedad tuvieron una ligera tendencia a presentar niveles altos y, el cloro residual, niveles bajos. Hubo trazas de aluminio en el 94 % de las muestras. En el período seco, 8 % de las muestras presentó compuestos orgánicos y, en el período lluvioso, 66,7 %. Solo hubo un resultado positivo para las sustancias inorgánicas. En el 11,5 % de las viviendas, el nivel de riesgo fue medio, en el 61,5 %, bajo, y en el 27 % no se registró riesgo.

**Conclusiones.** Se evidenció deterioro de la calidad del agua domiciliaria debido a la presencia de sustancias orgánicas en tanques y sobre todo en las redes, presumiblemente a causa de la formación de biopelículas o a la presencia de polímeros orgánicos. Los niveles de aluminio cercanos al máximo aceptable pueden explicarse por los remanentes de los coagulantes utilizados durante el tratamiento.

**Palabras clave:** calidad del agua, contaminantes ambientales, química del agua, pruebas de toxicidad, metales, residuos de plaguicidas, compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2538>

### Preliminary survey to detect toxic substances in domestic potable water, Bogotá and Soacha, 2012

**Introduction:** Significant alterations may be found in the water of Bogotá's water supply system after its purification, specifically during its distribution and storage in home reservoirs, which makes it necessary to study the final quality of the domiciliary water consumed by users.

**Objective:** To conduct a preliminary study of toxic chemical substances in the water supplied by Bogotá's water supply system in samples obtained from residential reservoirs and faucets.

**Materials and methods:** Descriptive study made in 26 homes located in Bogotá and Soacha. Two samplings were done during different seasons, each including a survey and the collection of water samples from domiciliary storage tanks and faucets. Samples were analyzed for basic physicochemical parameters, a screening test for organic and inorganic substances and the determination of heavy metals and residues of organophosphate pesticides and/or carbamates.

#### Contribución de los autores:

Elizabeth Silva y Elsa Villarreal: diseño del trabajo y recolección de muestras

Carlos Armando Cristancho y Elizabeth Silva: obtención de resultados, análisis e interpretación de los datos

Carmenza Murillo, Omayda Cárdenas y Elsa Villarreal: obtención de resultados y análisis de los datos

Manuel Alberto Salgado: análisis e interpretación de los datos y manejo estadístico

Gerardo Nava: asesoría técnica y administrativa

Todos los autores participaron en la escritura del manuscrito.

**Results:** Values obtained for conductivity, color and nitrates were acceptable, pH and turbidity were slightly high while residual chlorine levels were low; aluminum traces were found in 94% of the samples; 8% of the samples analyzed during the dry season showed organic compounds, compared to 66.7% during the rainy season, and just one positive result was obtained for inorganic compounds. Consequently, a medium risk level was observed in 11.5% of homes, low risk in 61.5% and no risk in 27.0%.

**Conclusion:** The evidence showed deterioration of the domiciliary water by organic substances present in the reservoirs as well as in the water supply piping, probably caused by the formation of biofilms or organic polymers. Aluminum levels close to the top permissible limit can be explained by the presence of residual coagulants used during water treatment.

**Key words:** Water quality, environmental pollutants, water chemistry, toxicity tests, metals, pesticide residues, inorganic chemicals, organic chemicals.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2538>

Uno de los problemas más críticos derivados de la contaminación ambiental es el grave impacto que esta tiene en la calidad del agua destinada al consumo humano, que ha llegado a convertirse en un serio problema de salud pública (1,2). La contaminación microbiológica del agua provoca efectos agudos (enfermedades infecciosas, como el cólera, el tífus, la malaria y la fiebre amarilla, así como síntomas gastrointestinales), en tanto que la contaminación química puede estar asociada a efectos crónicos, como el cáncer y las alteraciones neurológicas y reproductivas, entre muchas otras (3). Aunque la mayoría de los productos químicos que pueden encontrarse en el agua de consumo solo representan un peligro si se produce una exposición prolongada, algunos pueden producir efectos peligrosos tras múltiples exposiciones en un periodo corto (4).

En este orden de ideas, la contaminación química del agua es cada vez más preocupante y diariamente se liberan grandes volúmenes de sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas de forma directa e indirecta en los sistemas acuáticos. Según el *Toxics Release Inventory* (TRI) (Inventario de Liberación de Sustancias Tóxicas) de la *Environmental Protection Agency* (EPA) del 2001, más de 100.000 toneladas métricas de sustancias químicas son liberadas en las aguas superficiales y alrededor de 762.000 toneladas métricas son emitidas a la atmósfera anualmente por fuentes industriales en los Estados Unidos (5). Se estima que más del 50 % de las descargas en las fuentes de agua provienen de industrias químicas, de plantas de procesamiento

o fundición de metales y de refinerías de petróleo (3). Además, durante la desinfección del agua con dióxido de cloro, se pueden formar compuestos orgánicos clorados, principalmente trihalometanos (bromoformo, cloroformo, dibromoclorometano, bromodichlorometano), los cuales han demostrado tener efectos cancerígenos en roedores y podrían ocasionar daños en la salud de los humanos (6). Los niveles de estos compuestos se incrementan si los procesos de filtración, coagulación y cloración durante el tratamiento del agua no son los adecuados. Por esta razón, las fuentes de agua deben someterse a tratamientos cada vez más rigurosos hasta conseguir que sus características físicas, químicas y microbiológicas se consideren aptas para el consumo humano.

Sin embargo, aunque el proceso de potabilización sea efectivo, es muy probable que se produzcan cambios significativos en las características del agua a lo largo de la red de distribución debido a múltiples causas. Factores como el estado y el mantenimiento de las redes locales, los materiales y condiciones de la red domiciliar, y la frecuencia con que se limpian los tanques de almacenamiento, pueden alterar la calidad final del agua. Buena parte de este deterioro puede atribuirse a las condiciones sanitarias domiciliarias de la tubería, los grifos y los tanques de almacenamiento (7). Estos últimos constituyen un eslabón fundamental en el mantenimiento de un adecuado control de la calidad del agua; como lo estipula la reglamentación vigente, es necesario someterlos a limpieza, desinfección e inspección sanitaria, por lo menos, dos veces al año para evitar problemas de salud pública (8,9).

La presencia de biopelículas en la tubería constituye otro problema frecuente. Las biopelículas están conformadas por comunidades complejas de microorganismos recubiertas de un polisacárido extracelular que les da estructura, y ayuda a

Correspondencia:

Elizabeth Silva, Carrera 47A N° 22-84, apartamento 301, Barrio Quinta Paredes, Bogotá, D.C., Colombia  
Teléfono: (300) 268 3893; fax: (571) 285 7095  
[elisilvao@yahoo.com](mailto:elisilvao@yahoo.com)

Recibido: 03/09/14; aceptado: 29/04/15

retener el alimento y a protegerlas de agentes tóxicos. Se forman espontáneamente en presencia de humedad y pueden vivir con mínimas trazas de nutrientes, se fijan fuertemente a una superficie y la modifican mientras captan más nutrientes y nuevas bacterias de una o varias especies, por lo que pueden convertirse en su reservorio, involucrarse en contaminaciones cruzadas, obstruir la conducción de líquidos y afectar la higiene. Los sistemas públicos de distribución y las instalaciones domiciliarias presentan deficiencias que favorecen la formación de biopelículas (10).

Para contrarrestar estas situaciones, las normas nacionales e internacionales han establecido límites permisibles cada vez más estrictos. En nuestro país, el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano está regido por el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007 que lo reglamenta (8,11). Para dar cumplimiento a esta norma, es indispensable ejercer un estricto control a partir de los puntos de captación inicial del agua, pasando por su tratamiento y distribución, hasta su distribución a los consumidores finales.

En dicho control deben incluirse aquellas sustancias químicas cuyo efecto nocivo para la salud humana debido a la exposición a cantidades excesivas en el agua de consumo, se ha comprobado. Entre dichas sustancias se incluyen el fluoruro, el arsénico y el nitrato. En algunas zonas también se han comprobado los efectos asociados al plomo procedente de las instalaciones de fontanería domésticas; asimismo, existe preocupación por la posible exposición a concentraciones de selenio y uranio, así como de hierro y manganeso, debido a sus efectos sobre la aceptabilidad del agua, por lo que deben tenerse en cuenta a la hora de establecer prioridades (4).

En la población infantil la exposición al plomo causa cada año 600.000 nuevos casos de discapacidad intelectual. Este metal se disemina en el organismo hasta llegar al cerebro, el hígado, los riñones y los huesos, y se deposita en estos y en los dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo (12). Los nitritos y los nitratos causan metahemoglobinemia, además de vómito, diarrea y cianosis en los niños (13). El flúor en concentraciones muy altas afecta la dentadura y su ingestión prolongada provoca daños en la salud, especialmente en el sistema nervioso central (14). El cadmio es uno de los metales más peligrosos, según la *Agency for Toxic Substances and Disease*

*Registry (ATSDR)* de los Estados Unidos; sus efectos tóxicos se manifiestan especialmente en los huesos y en los riñones, siendo particularmente vulnerables las personas que tienen bajas reservas de hierro (15). Además, teniendo en cuenta que las sales de aluminio se usan ampliamente en la purificación del agua como coagulante para reducir la materia orgánica, el color, la turbiedad y los niveles de microorganismos, es posible que su empleo repercuta en el aumento de las concentraciones de aluminio en el agua potable. La ingestión de concentraciones significativas de aluminio puede tener efectos neurotóxicos y se ha planteado que es un factor de riesgo para el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer (16,17).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha manifestado que, si bien hay muchas reservas sobre la existencia de una relación causal entre la ingestión del aluminio presente en el agua potable y la enfermedad de Alzheimer, los datos podrían ser útiles en la adopción de decisiones sobre el control de las exposiciones a este metal en la población general (18).

Por otra parte, si la concentración del producto químico en cuestión sufre grandes fluctuaciones, es posible que ni siquiera una serie de resultados analíticos permita determinar completamente el riesgo que este supone para la salud pública (por ejemplo, los nitratos, que se asocian con la metahemoglobinemia en lactantes alimentados con biberón). Para controlar estos peligros es preciso conocer los factores causantes, como el uso de fertilizantes en la agricultura, así como la evolución de las concentraciones detectadas, ya que pueden ser indicativas de considerables problemas en el futuro (4).

Con respecto a la calidad del agua suministrada por el acueducto de Bogotá, los parámetros fisicoquímicos presentaron un promedio de aceptabilidad del 98 %, con un mínimo de 96,1 % en el 2001 y un máximo de 99,4 % en el 2003. En el mismo período, los parámetros microbiológicos arrojaron un nivel de aceptabilidad promedio de 99,1 %, con un mínimo de 98,6 % en el 2001 y un máximo de 99,7 % en el 2004 (19). Según el reporte del Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SIVICAP) para el 2012, el promedio del índice del riesgo de la calidad del agua en Bogotá fue de 6,8 %, mientras que el de Cundinamarca fue de 6,9 %, lo que corresponde a un nivel de riesgo bajo para el agua de consumo humano (20).

Con base en los datos anteriores y considerando que la calidad del agua debe mantenerse en todo el sistema hasta llegar al usuario final, en este estudio se hicieron pruebas de determinación analítica para conocer la calidad final del agua en los tanques de almacenamiento y los grifos de viviendas surtidas por la red de abastecimiento público de Bogotá.

### **Materiales y métodos**

Se llevó a cabo un estudio descriptivo transversal durante el 2012, con el fin de evaluar preliminarmente la calidad del agua para consumo humano en viviendas abastecidas por la red de distribución de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. El área de estudio incluyó las localidades de Suba, Usaquén, Chapinero y Ciudad Bolívar de Bogotá, y el barrio San Mateo en el municipio de Soacha.

#### ***Población y recolección de muestras***

Se seleccionaron 26 viviendas mediante un muestreo por conveniencia. Solo se incluyeron viviendas abastecidas por la red de distribución del sistema de acueducto de Bogotá que estuvieran ubicadas en el área de muestreo y cuyos habitantes aceptaran participar voluntariamente en el estudio.

Se hicieron dos muestreos, uno en tiempo seco y otro en temporada de lluvias; en cada uno de ellos se tomaron muestras del tanque de almacenamiento y de uno de los grifos de cada vivienda. Se recolectaron aproximadamente tres litros de agua por punto de toma, repartidos en cuatro recipientes para las respectivas determinaciones analíticas de toxicidad, parámetros fisicoquímicos, metales y residuos de plaguicidas organofosforados y carbamatos.

Las muestras se transportaron en condiciones de refrigeración al Grupo de Salud Ambiental "Jaime Eduardo Ortiz Varón" del Instituto Nacional de Salud de Colombia. Una vez se registró su ingreso, las muestras se codificaron para minimizar los sesgos. Las condiciones de toma, recolección y transporte, se describen en el manual correspondiente (21). El estudio piloto se hizo con seis muestras tomadas en tres viviendas del área seleccionada y, con base en los resultados, se hicieron los ajustes de tiempos, movimientos e instrumentos para la encuesta, la recolección de muestras y las determinaciones analíticas.

#### ***Diseño de la encuesta***

El objetivo de la encuesta fue determinar las características y las condiciones de mantenimiento de los tanques, el tipo de tubería, los usos del

agua, la cantidad de habitantes y las variables sociodemográficas de cada vivienda. El diligenciamiento de la encuesta y la recolección de las muestras de agua, estuvieron a cargo de profesionales del Grupo de Salud Ambiental del Instituto Nacional de Salud.

#### ***Ensayos analíticos***

En todas las muestras recolectadas se determinaron seis parámetros fisicoquímicos básicos: potencial de hidrógeno (pH), conductividad, turbiedad, cloro residual, color y nitratos. Se aplicaron los procedimientos analíticos incluidos en el manual de métodos fisicoquímicos básicos para el análisis de aguas para consumo humano del Grupo de Salud Ambiental (22).

Se determinaron dos índices de toxicidad mediante la prueba de tamización de ToxScreen™, uno para las sustancias orgánicas y el otro para las inorgánicas. Esta prueba se basa en la inhibición de la luminiscencia de la bacteria *Photobacterium leiognathi* que ocurre por el contacto con tóxicos químicos y biológicos que pueden afectar la respiración celular, la tasa de síntesis de proteínas y de lípidos y la integridad celular, especialmente la función de la membrana (23). Esta metodología ha sido validada y divulgada por la EPA mediante su programa de verificación de tecnología ambiental (*Environmental Technology Verification Program*, ETV) (24,25).

Las muestras que presentaron un porcentaje de concentración inhibitoria igual o superior al 50 %, se consideraron positivas. En las muestras positivas para sustancias inorgánicas y en 10 % de las negativas, se determinaron los niveles de mercurio, plomo, cadmio y aluminio, mientras que en las positivas para sustancias orgánicas y en 10% de las negativas, se determinaron los residuos de plaguicidas organofosforados y carbamatos. En el cuadro 1 se indica el tipo de metodología utilizada en cada determinación analítica y los valores permisibles según la norma vigente en Colombia (11).

#### ***Determinación del índice del riesgo de la calidad del agua potable***

Con los datos obtenidos para los diferentes parámetros, se calcularon el índice y el nivel de riesgo asociado con la calidad del agua potable para cada vivienda, siguiendo la norma vigente para el Sistema de Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano (8,11).

**Cuadro 1.** Parámetros analizados y metodologías de medición correspondientes

Parámetros fisicoquímicos	Metodología (26)	Valores permisibles (11)
Potencial de hidrógeno (pH)	Electrométrico ( <i>Standard Methods</i> ) 4500 B	$\geq 6,5$ y $\leq 9$ unidades de pH
Conductividad	Método electrométrico ( <i>Standard Methods</i> ) 2510 B	$\leq 1.000$ $\mu$ Siemens/cm
Turbiedad	Turbidimétrico ( <i>Standard Methods</i> ) 2130 B	$\leq 2$ NTU
Cloro residual	Titulación volumétrica con FAS DPD ( <i>Standard Methods</i> ) 4500 F	$\geq 0,3$ y $\leq 2$ mg de $Cl_2/L$
Color	Comparación visual platino cobalto ( <i>Standard Methods</i> ) 2120 A	$\leq 15$ UPC
Nitratos	Método espectrofotométrico ( <i>Standard Methods</i> ) 4500 NO3 B	$\leq 10$ mg/L
Metales	Metodología (26)	Valores permisibles (11)
Plomo, cadmio, aluminio	Espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito ( <i>Standard Methods</i> )	0,01 mg Pb/L, 0,003 mg Cd/L, 0,2 mg Al/L
Mercurio	Espectrofotometría de absorción atómica con vapor frío ( <i>Standard Methods</i> )	0,001 mg Hg/L
Plaguicidas	Metodología (27)	Valores permisibles (11)
Residuos de plaguicidas organofosforados y carbamatos	Determinación indirecta por el método colorimétrico	0,001 mg/L
Índices de toxicidad	Metodología (23,28)	Valores permisibles (23)
Tóxicos inorgánicos	Bioluminiscencia, método ToxScreen™	$\leq 50$ % de concentración inhibitoria de bioluminiscencia (CI)
Tóxicos orgánicos	Bioluminiscencia, método ToxScreen™	$\leq 50$ % de concentración inhibitoria de bioluminiscencia (CI)

### Análisis estadístico

A partir de la información obtenida en la encuesta y en las determinaciones analíticas, se creó una base de datos y se organizaron los datos por periodo y localidad de muestreo de acuerdo con la especificidad de la red de suministro local. Los datos se analizaron en el programa Microsoft Excel®. Se hizo un análisis estadístico gráfico estableciendo las líneas de tendencia según el modelo de regresión no lineal de polinomios y se establecieron los coeficientes de correlación lineal de los resultados analíticos de cada parámetro. Estos procedimientos se aplicaron a los datos correspondientes a los grifos y tanques de almacenamiento con el fin de visualizar el comportamiento.

### Consideraciones éticas

En cada vivienda seleccionada se obtuvo la firma del consentimiento informado y se entregaron los resultados del estudio en un informe escrito que incluía su interpretación y la norma pertinente.

### Resultados

#### Muestreo

El muestreo incluyó 26 viviendas, seis en la localidad de Chapinero, cinco en cada una de las localidades de Suba, Usaquén y Ciudad Bolívar

de Bogotá, y cinco en el barrio San Mateo del municipio de Soacha. En total se recolectaron 104 muestras, seis para el estudio piloto, 50 durante el período seco y 48 en la temporada de lluvias; algunas muestras no se pudieron recolectar debido a la ausencia de los residentes en el momento de las jornadas de muestreo.

#### Encuesta

Según la información obtenida en la encuesta, 57,7 % de los tanques de almacenamiento era de cemento, 26,9 % de polietileno, 3,8 % de concreto y 3,8 % de asbesto; no se obtuvo la información sobre 7,7 % de los tanques. El 61,5 % de las muestras se tomaron de tanques comunales de almacenamiento pertenecientes a edificios o a conjuntos cerrados y, el 38,5 %, de tanques exclusivos para una vivienda. La frecuencia de lavado de los tanques varió entre 1 y 27 meses; se encontró que solo en el 30,8 % se cumplía con la norma de lavarlos, por lo menos, cada seis meses; el 42,3 % se lavaba cada 7 a 12 meses, y el 26,9 % cada 12 meses o más.

Según los datos suministrados en la encuesta, el 76,9 % de los tanques de almacenamiento se usaba de forma continua, mientras que el 15,4 % solo se empleaba cuando había racionamiento.

En el 50 % de las viviendas se utilizaba tubería de PVC, en el 34,6 %, tubería galvanizada, y en el 15,4 %, una combinación de tubería galvanizada y de PVC. El número de personas residentes varió entre 1 y 12 por vivienda, para un total de 96 personas. En todas las viviendas encuestadas el consumo de agua era exclusivo para sus residentes y ninguno de los habitantes reportó síntomas que se consideraran originados por el consumo de agua.

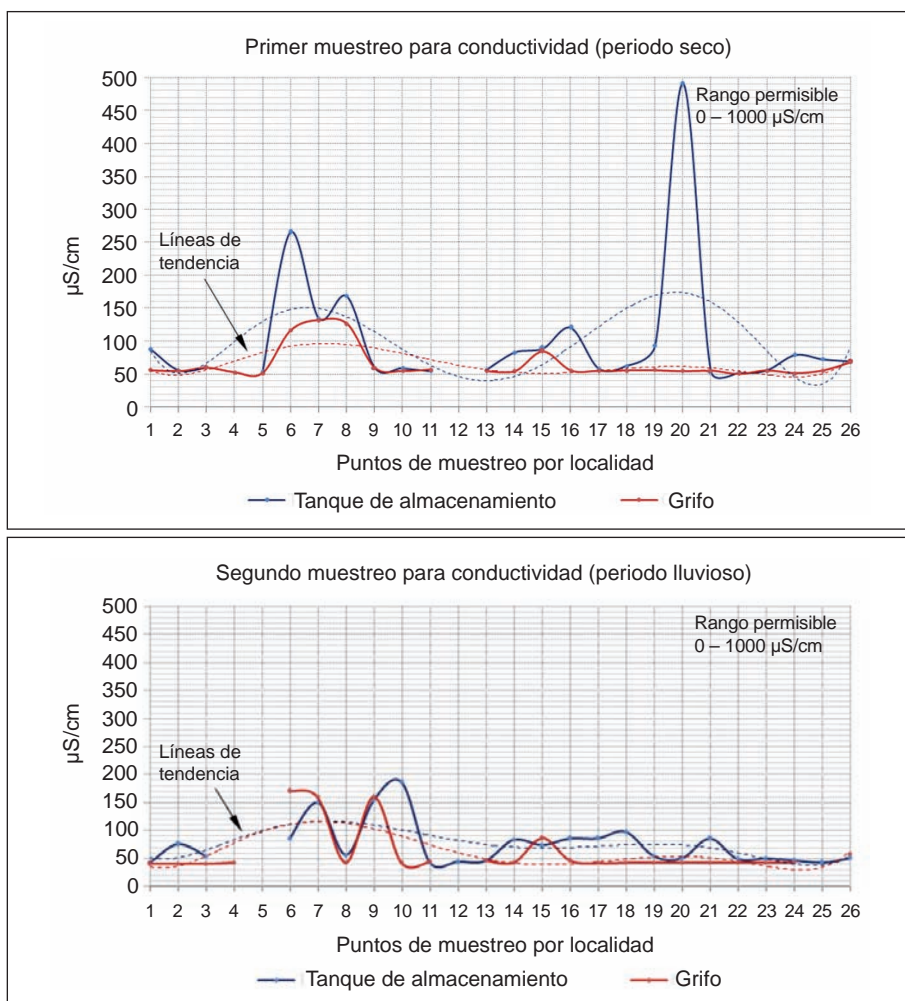
**Ensayos analíticos**

Se obtuvieron todos los resultados de las pruebas analíticas según el esquema de trabajo propuesto, y se clasificaron teniendo en cuenta las características y los instrumentos básicos contemplados

en la norma vigente para el control de la calidad del agua a nivel nacional (8,11). Las tendencias se analizaron según el modelo estadístico de regresión no lineal de polinomios de grado seis y se presentaron graficadas en secuencia para una mejor comparación, incluida la información de los puntos de muestreo y el área geográfica.

**Pruebas fisicoquímicas**

Los parámetros de color, conductividad y nitratos estuvieron dentro de los valores permisibles. La tendencia de la conductividad en los tanques de almacenamiento fue ligeramente superior a la de los grifos en ambos periodos, siendo un poco mayor en el periodo seco (figura 1). Con respecto a los nitratos, estos registraron niveles dentro del rango



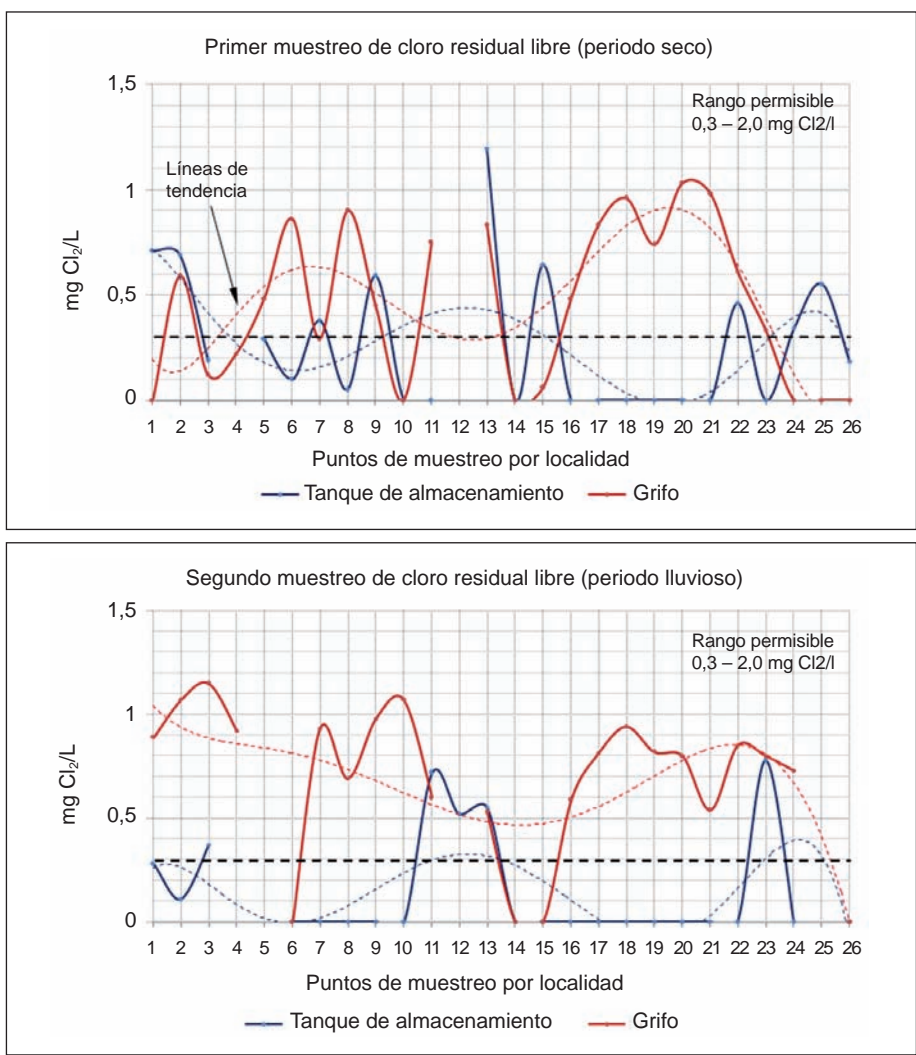
Localidad	Suba	Usaquén	Chapinero	Soacha	Ciudad Bolívar
Puntos de muestreo	1,2,3,4,5	6,7,8,9,10	11,12,13,14,15,16	17,18,19,20,21	22,23,24,25,26

Figura 1. Tendencia de los resultados de la conductividad en los dos periodos analizados

permisible establecido en la norma; sin embargo, en la localidad de Usaquén se observó un incremento inusual de algunos valores en comparación con los demás reportes. En general, durante el periodo lluvioso se presentó una tendencia a registrar valores mayores en los tanques de almacenamiento.

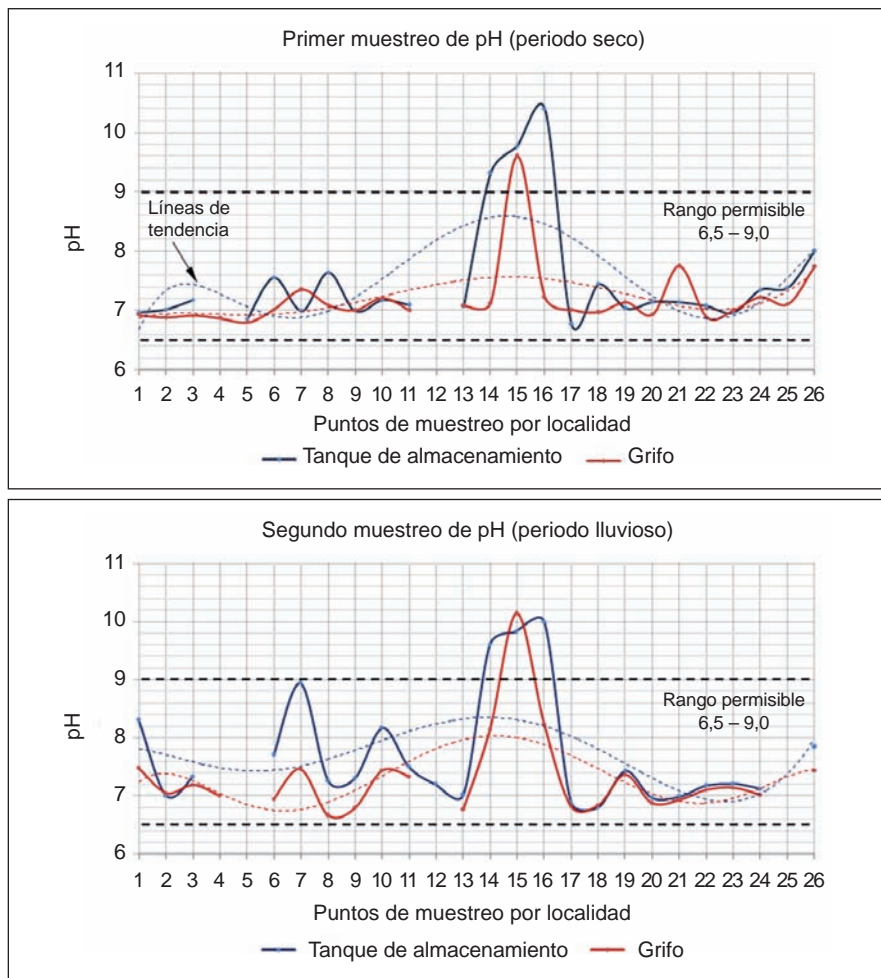
En los otros tres parámetros fisicoquímicos (pH, turbiedad y cloro residual libre), 58 (59,2 %) muestras no cumplieron con los niveles permisibles. El mayor porcentaje de incumplimiento se presentó en los valores de cloro residual libre (48 %) y se observó menor cantidad en los tanques de almacenamiento que en los grifos (figura 2). Con respecto al pH, en tres viviendas de la localidad

de Chapinero las muestras de los tanques y la del grifo en una de ellas (8,2 %) superaron los niveles permisibles en ambos periodos. Se observó una leve tendencia a valores más altos en el periodo lluvioso, aunque dicha tendencia se vio influenciada en algún grado por los niveles inusualmente altos en las tres viviendas mencionadas. Igualmente, se observó una tendencia a mayores valores de pH en el agua de los tanques de almacenamiento comparada con la de los grifos (figura 3). La turbiedad estuvo levemente por encima de los niveles permisibles en tres de las muestras (3,1 %) de sendas viviendas y hubo, en general, un aumento durante el período de lluvias (figura 4).



Localidad	Suba	Usaquén	Chapinero	Soacha	Ciudad Bolívar
Puntos de muestreo	1,2,3,4,5	6,7,8,9,10	11,12,13,14,15,16	17,18,19,20,21	22,23,24,25,26

Figura 2. Tendencia de los resultados de cloro residual libre en los dos periodos analizados



Localidad	Suba	Usaquén	Chapinero	Soacha	Ciudad Bolívar
Puntos de muestreo	1,2,3,4,5	6,7,8,9,10	11,12,13,14,15,16	17,18,19,20,21	22,23,24,25,26

Figura 3. Tendencia de los resultados de pH en los dos períodos analizados

**Índice de toxicidad**

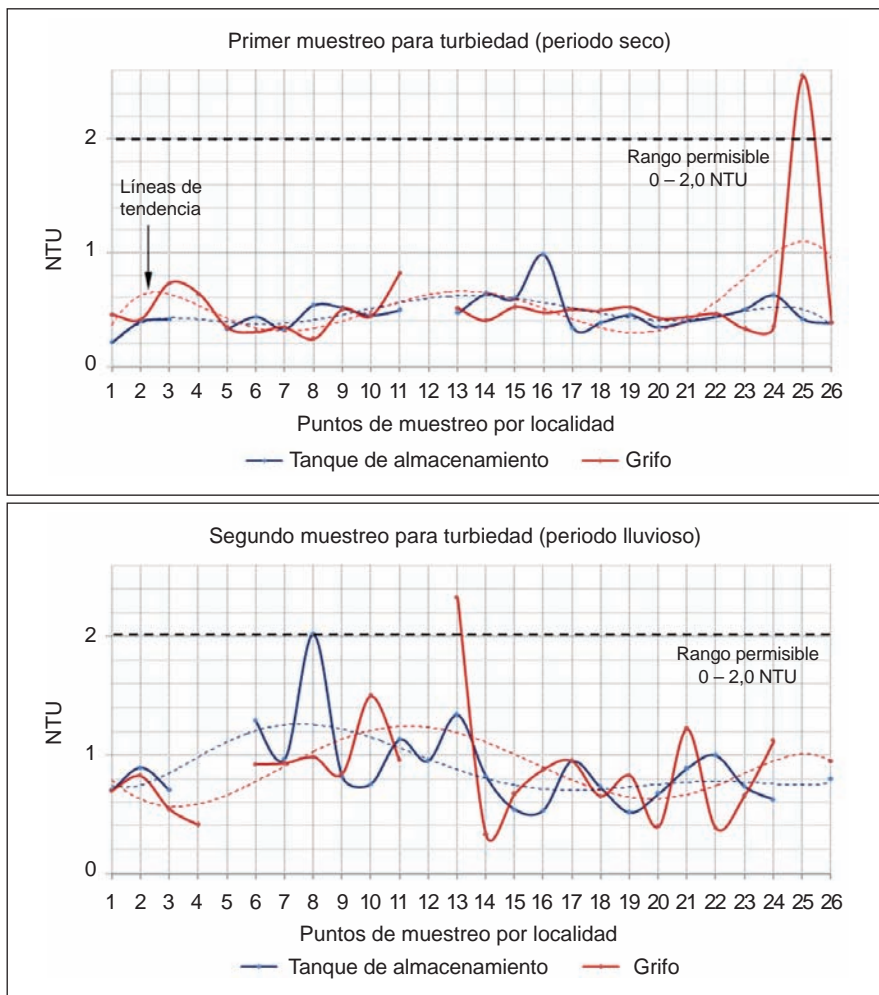
En la prueba de ToxScreen™ para la detección de sustancias inorgánicas, solo una muestra fue positiva (1 %). Con respecto a las sustancias orgánicas, los resultados fueron disímiles en los dos períodos de recolección. Durante el período seco se registraron resultados positivos en el 8 % de las muestras (una de tanque y tres de grifo), correspondientes a cuatro viviendas ubicadas en cada una de las localidades de Usaquén, Chapinero, Suba y Ciudad Bolívar. Durante el período lluvioso fueron positivas 30 muestras (62,5 %), correspondientes al 84,6 % de las viviendas. En diez de las viviendas las muestras del tanque y del grifo fueron positivas, y en las doce restantes, solo las del grifo (figura 5). Es interesante observar que

en los dos períodos, aunque más en el lluvioso, hubo tendencia a registrar porcentajes mayores de concentración inhibitoria en los compuestos orgánicos de las muestras de los grifos que en las de los tanques de almacenamiento.

**Metales**

Las muestras de agua analizadas para los cuatro metales, presentaron valores por debajo de los límites máximos admisibles según la norma vigente. Sin embargo, es importante señalar que mientras los niveles de mercurio, plomo y cadmio estuvieron por debajo de su respectivo límite de detección, se detectaron trazas de aluminio en todas las muestras, con valores que fluctuaron entre 0,015 y 0,133 mg/L.





Localidad	Suba	Usaquén	Chapinero	Soacha	Ciudad Bolívar
Puntos de muestreo	1,2,3,4,5	6,7,8,9,10	11,12,13,14,15,16	17,18,19,20,21	22,23,24,25,26

Figura 4. Tendencia de los resultados de turbiedad en los dos períodos analizados. NTU: unidad nefelométrica de turbiedad

**Plaguicidas organofosforados y carbamatos**

Los niveles de residuos de plaguicidas organofosforados y carbamatos estuvieron por debajo del valor máximo aceptable según la norma vigente.

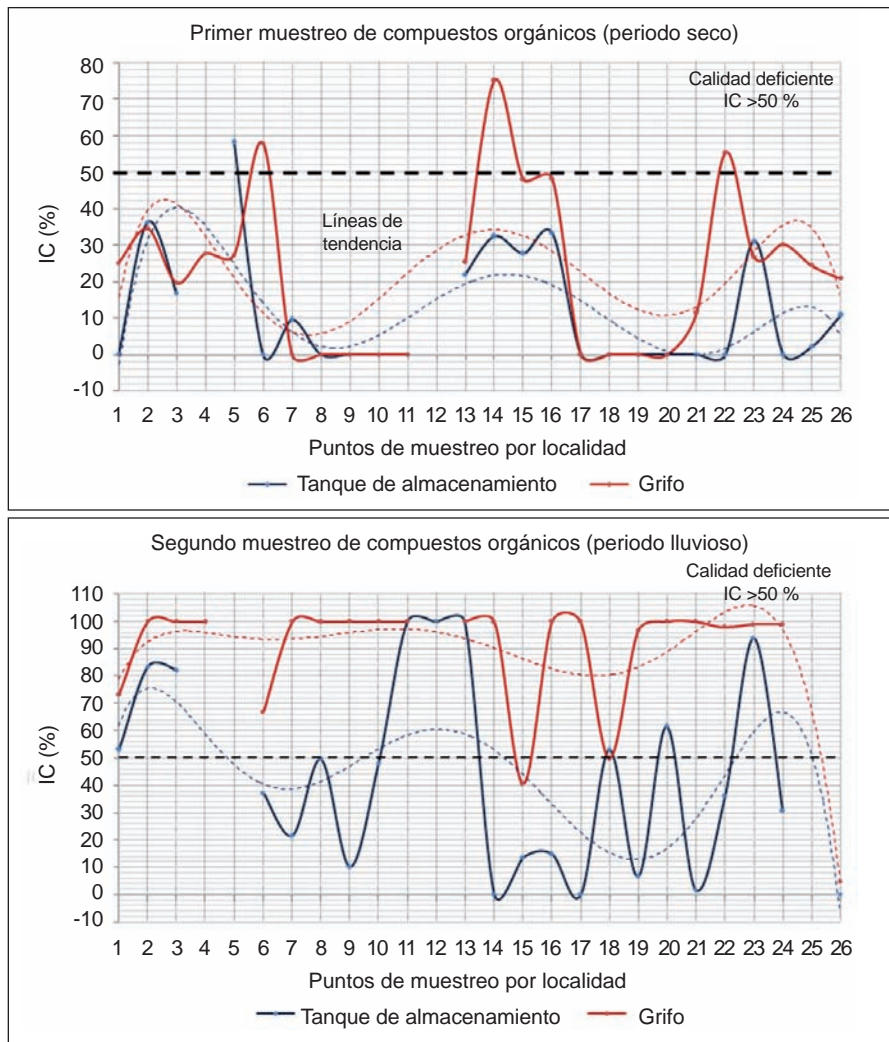
**Coefficientes de correlación e índice del riesgo de la calidad del agua para consumo humano**

La única relación clara en los coeficientes de correlación fue la observada entre nitratos y conductividad. Esta relación es explicable, ya que los nitratos son sales que elevan la conductividad del agua. Las otras correlaciones no fueron consistentes en todos los muestreos. Después de determinar el valor total del índice del riesgo de la calidad del agua por vivienda, promediando los índices de

riesgo calculados para la primera y la segunda recolecciones, se encontró que en el 11,5 % de las viviendas se registraba un nivel de riesgo medio, con un índice del riesgo de la calidad del agua de alrededor de 15, en tanto que en el 61,5 % de ellas el índice de riesgo variaba entre 7,5 y 12,75, es decir, un nivel bajo, y el 26,9 % presentaba un índice que fluctuaba entre 0 y 3,75, o sea que no presentaban riesgo. Los valores del índice del riesgo de la calidad del agua por localidad fueron de 6, 7,5 y 9, que corresponden a un riesgo bajo.

**Discusión**

Debido a los problemas de salud asociados con los contaminantes químicos presentes en el agua de consumo, es importante que dichos contaminantes



Localidad	Suba	Usaquén	Chapinero	Soacha	Ciudad Bolívar
Puntos de muestreo	1,2,3,4,5	6,7,8,9,10	11,12,13,14,15,16	17,18,19,20,21	22,23,24,25,26

Figura 5. Tendencia de los resultados de los compuestos orgánicos en los dos periodos analizados. CI: concentración inhibitoria

sean priorizados e incluidos tanto en la norma como en los programas de vigilancia (29). Con respecto a la norma, el Instituto Nacional de Salud de Colombia, en cumplimiento del Decreto 1575 de 2007 y de sus resoluciones reglamentarias, desarrolló el Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano, SIVICAP, mediante el cual las autoridades sanitarias departamentales reportan los datos de la vigilancia de la calidad del agua como parte de sus funciones de inspección, vigilancia y control (30).

Con relación a los programas de vigilancia, es importante tener en cuenta que el agua debe conservar su calidad en la etapa de distribución a

lo largo de la red de abastecimiento del acueducto y al ser suministrada a través de la red domiciliaria. Por ello, en muchos estudios se ha insistido en la necesidad de llevar a cabo acciones de control y vigilancia de la calidad del agua, tanto en el sistema de abastecimiento como en las instalaciones domiciliarias.

En un estudio llevado a cabo en la ciudad brasilera de Agua Palma, se evaluaron los procesos de abastecimiento y de distribución del agua mediante un control de calidad operativo y una estratégica campaña de saneamiento; se encontró que los parámetros de pH, cloro residual y turbiedad estaban dentro de los valores establecidos por la

norma brasilera. Con base en estos resultados, se concluyó que los sistemas evaluados, aunque eran muy complejos, estaban bajo control (31).

En el presente trabajo se determinaron algunos parámetros de calidad del agua potable contemplados en la norma vigente (11), con el fin de inspeccionar la calidad del agua y el mantenimiento de la red domiciliaria. Aunque los parámetros fisicoquímicos de conductividad, color y nitratos estaban dentro de los límites permisibles, la conductividad presentó una tendencia a valores más altos en el período seco (figura 1), debido probablemente a un incremento en la concentración de sales disueltas como consecuencia de una menor dinámica asociada a la baja turbulencia en la captación del recurso. Este fenómeno también explica la mayor conductividad encontrada en los tanques de almacenamiento en comparación con la de los grifos. Además, la tendencia a presentar mayores valores de nitratos en el periodo de lluvias, puede atribuirse a un incremento en el arrastre por escorrentía durante la estación lluviosa. El nitrógeno que se encuentra en la mayoría de los fertilizantes usados en cultivos, se convierte en nitrato por la acción de las bacterias naturales del suelo y se desplaza por escorrentía del agua lluvia o de irrigación, infiltrándose en el suelo o llegando a los acuíferos de captación.

Aunque no fue posible establecer un patrón definido en el comportamiento del parámetro de turbiedad (figura 4), los resultados fueron congruentes con la situación real, ya que la tendencia en los registros aumentó claramente en el periodo de lluvias, tanto en los tanques de almacenamiento como en los grifos. En cuanto al pH, los valores que superaron los límites permisibles se registraron en tres viviendas (figura 3) en las que probablemente se hayan presentado alteraciones en el estado de los tanques de almacenamiento o en las tuberías por el procedimiento de lavado y desinfección, que ha podido dejar remanentes de desinfectante o de detergente que alteraran el pH del agua.

Por otra parte, la tendencia a mayores valores de pH en el agua de los tanques comparados con los grifos, probablemente se deba a que la reducción de la velocidad del agua en los tanques permite que algunas partículas sólidas, como óxidos, carbonatos y otras, produzcan precipitación y estabilicen el sistema, reduciendo así la concentración de iones de hidrógeno (aumento del pH). En contraposición, la turbulencia dentro de las tuberías puede causar una nueva disolución de iones, producto de la

corrosión y la remoción de biopelículas, lo que disminuye el pH del agua suministrada por los grifos. Además, la mayor concentración de material sólido en el período de lluvia y la mayor dosificación del coagulante para favorecer su precipitación, producen una reducción en la concentración de iones de hidrógeno en el agua, contrariamente a lo observado en el periodo seco.

El 49 % de las muestras con valores de cloro residual inferiores al límite permisible (figura 2), contrastó con el porcentaje de 3,8 % reportado en Salvador (Brasil) en el agua domiciliaria y de la red de distribución, en las que se encontraron niveles importantes de contaminación (32).

Los valores de cloro residual detectados en el presente trabajo afectaron los resultados del índice del riesgo de la calidad del agua, pues se encontró que el 73 % de las viviendas presentaba un nivel de riesgo medio o bajo. Sin embargo, hay que considerar la probabilidad de que la concentración de cloro haya disminuido durante el transporte de las muestras, debido a su inestabilidad en soluciones acuosas y a la rápida disminución de su concentración en agua o en soluciones muy diluidas sometidas a agitación o a la luz.

En el municipio de Bojacá (Cundinamarca) se reportaron resultados similares: la mayoría de las muestras recolectadas en la red de distribución y en los tanques de almacenamiento domiciliario presentó niveles de cloro residual libre considerablemente bajos que, según el índice del riesgo de la calidad del agua, se clasificaron como no aptos para el consumo humano. Sin embargo, los demás parámetros analizados (pH, turbiedad, hierro, alcalinidad, dureza y aluminio), e incluso los microbiológicos (coliformes totales y *Escherichia coli*), cumplieron con lo estipulado en la Resolución 2115 de 2007 (33).

En Cuba se midió la relación entre la calidad del agua de consumo y la frecuencia de la enfermedad diarreica aguda, en 31 ciudades de más de 35.000 habitantes, tomando como indicadores de la calidad del agua el grado de desinfección (según la concentración de cloro) y su potabilidad (según la contaminación con coliformes). Los resultados permitieron estratificar el riesgo de sufrir la enfermedad según la calidad del agua, como alto en 23 ciudades (74,2 %) y como moderado en ocho ciudades (25,8 %) (34).

En Colombia se evaluó el riesgo de la calidad del agua en 13 ciudades mediante un muestreo en 66 industrias de alimentos y el 28,8 % de las muestras

presentó valores de cloro residual libre por debajo del límite permisible. Según el índice del riesgo de la calidad del agua, se clasificaron en el rango de riesgo medio seis ciudades (46,1 %), en el de riesgo bajo, cinco ciudades (38,5 %), incluida Bogotá, y sin riesgo, dos ciudades (15,4 %) (35). El nivel de riesgo de Bogotá y el nivel de cloro residual en ese estudio, fueron similares a los del presente estudio, por lo que en ambos estudios se plantea la conveniencia de verificar los resultados frente a la probabilidad de que su concentración de cloro haya variado durante el transporte de las muestras.

Los resultados de la evaluación de sustancias químicas inorgánicas mediante la prueba de tamización de ToxScreen™, fueron coherentes con los de los metales estudiados. No se detectaron en las muestras analizadas trazas de cadmio, plomo ni mercurio y los niveles de aluminio estuvieron por debajo del valor máximo aceptable según la norma vigente. Estos resultados permiten tener confianza en cuanto a la idoneidad de las aguas estudiadas, ya que no presentan riesgo de contener este tipo de químicos. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que se detectaron trazas de aluminio en el 94,1 % de las muestras analizadas, probablemente debido a remanentes del coagulante utilizado (sulfato de aluminio o hidroxiclorigenato de aluminio). Aunque los efectos benéficos de este compuesto son reconocidos en el tratamiento del agua, la OMS ha propuesto optimizar el proceso de coagulación en las plantas de agua potable que lo utilizan, con el fin de reducir al mínimo sus niveles en el agua tratada y evitar los efectos en la salud, considerando su potencial neurotoxicidad (18). Se recomienda, por lo tanto, hacer seguimientos para vigilar los niveles de este metal en el agua potable.

En contraste con los resultados relativos a los compuestos inorgánicos, en la prueba de tamización fue evidente un mayor registro de valores positivos del porcentaje de concentración inhibitoria en el análisis de compuestos orgánicos (figura 5). Este fenómeno se incrementó en el periodo lluvioso y fue más acentuado en las muestras de los grifos, lo cual es indicativo de una mayor deficiencia en la calidad del agua por carga orgánica en los grifos, en comparación con los tanques de almacenamiento de los cuales proviene. Una posible explicación es la formación de biopelículas, ecosistemas microbianos que se adhieren a la superficie interna de las tuberías en forma de costras y excretan una matriz extracelular adhesiva y protectora que impide parcialmente la acción del cloro residual,

lo cual explica la mayor disponibilidad de cloro residual libre en los grifos en comparación con los tanques de almacenamiento. La formación de las biopelículas se ve favorecida por la presencia de sólidos en el agua, que aparecen por deficiencias en la etapa de filtración, o por la existencia de costras debido a la corrosión de la tubería. Esto permite que se alojen microorganismos o contaminantes en los intersticios y superficies de las partículas (oclusión), elevando así el contenido orgánico en el agua (10,36).

Los resultados de los compuestos orgánicos también pueden deberse a la presencia de remanentes del polímero orgánico por el uso de poliaminas en la formulación del tratamiento de potabilización (37,38). Este polímero mejora la densidad del coágulo y reduce el tiempo de coagulación de las aguas con gran contenido de materia orgánica, lo cual es muy probable en periodos lluviosos. Teniendo en cuenta que la planta de tratamiento de Tibitoc tiene mayor contenido de materia orgánica que la de Wiesner, y que los sistemas de distribución están interconectados, las muestras con un contenido elevado de compuestos orgánicos pudieron resultar de una mezcla con mayor proporción de agua procedente de Tibitoc. Por otra parte, hay que tener en cuenta que el aumento de la materia orgánica durante el periodo lluvioso favorece la aparición de productos de desinfección que, por lo general, no son removidos totalmente durante el tratamiento del agua y cuya presencia habría sido detectada por la prueba de tamización, ya que son compuestos orgánicos clorados. Para establecer las acciones necesarias para contrarrestar dicho aumento, es necesario determinar con certeza los hechos asociados, identificar los contaminantes y su concentración, y establecer en qué medida se han superado los valores de referencia y la duración de la contaminación.

El agua suministrada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá debe cumplir con los estándares de calidad de la norma vigente establecida por el Ministerio de la Protección Social, ente que reglamenta los parámetros de potabilidad del agua para consumo humano. Igualmente, es responsabilidad de los usuarios garantizar el correcto lavado de los tanques y el mantenimiento de las redes domiciliarias.

En un estudio llevado a cabo entre 1998 y 1999 en Salvador, Brasil, se muestrearon 320 puntos en los que se recolectaron muestras de la red de distribución y de los recipientes domiciliarios de

agua para beber. Se hicieron análisis bacteriológicos y fisicoquímicos, y se recolectaron datos de las condiciones de recolección y manipulación del agua en los domicilios. Los resultados revelaron que cerca de 8,3 % de las muestras tenía un número total de bacterias por encima de lo permitido por la norma: el 55,8 % de las muestras en los domicilios presentaron coliformes totales y, el 37 %, coliformes fecales, lo que indicaba un incremento de la contaminación en los hogares del 285 % para los coliformes totales y de 361 % para los fecales. En cuanto a las características fisicoquímicas, 3,8 % de las muestras presentaron niveles de cloro residual y total inferiores a 0,2 mg/L. Los parámetros de nitratos, sulfatos, dureza, olor y cromo hexagonal, estuvieron dentro de los patrones establecidos, mientras que 37 % de las muestras presentaron valores por encima de lo permitido para el hierro, 22 % para la turbiedad, aproximadamente 50 % para el color y 13,5 % para el aspecto (32). Posteriormente, entre el 2002 y el 2003, se hizo una segunda etapa de evaluación de la calidad del agua de consumo humano, y se encontró que, a pesar de la alta inversión del programa, la calidad del agua continuaba sin cumplir los patrones de potabilidad, lo que se agravaba en el interior de los domicilios por la manipulación inadecuada por parte de los consumidores (39). De acuerdo con la información de la encuesta, solo el 28 % de las viviendas cumplía con la reglamentación vigente con respecto al lavado de los tanques, y el 50 % aún tenía tubería galvanizada.

Aunque los resultados encontrados tienen validez únicamente para las muestras analizadas, representan una aproximación sobre la calidad del agua domiciliar. Sabedores de la importancia de los efectos crónicos producidos por los compuestos químicos, se recomienda llevar a cabo estudios que incluyan un muestreo representativo, así como determinaciones analíticas para identificar dichos compuestos y exámenes microbiológicos que aporten mayores elementos de juicio para explicar los hallazgos relacionados con la contaminación orgánica e, igualmente, establecer los niveles de riesgo y tomar las correspondientes medidas de control.

Teniendo en cuenta que las administraciones públicas deben velar por el cumplimiento de los estándares de calidad y prestar atención a estos parámetros, es conveniente apoyar e impulsar las normas para la implementación de un programa de vigilancia y control de las redes domiciliarias.

De esta manera, los principios de calidad quedarían integrados a todo lo largo de la red de distribución y se obtendría información que ayude a formular estrategias para la reducción de los riesgos relacionados con el consumo de agua potable. También, deben implementarse programas de educación sanitaria entre los usuarios para que tomen conciencia de la necesidad de cumplir con las responsabilidades que la norma les asigna, e implementar mejoras efectivas en los sistemas de almacenamiento y distribución del agua en el domicilio, con el fin de incrementar los estándares de calidad del agua de consumo.

### Agradecimientos

Agradecemos especialmente a los residentes de las viviendas seleccionadas, por su colaboración y buena disposición durante el proceso de recolección de las muestras.

### Conflicto de intereses

Los autores declaramos que durante la realización del trabajo no existió conflicto de intereses de ningún tipo.

### Financiación

Este trabajo fue financiado por la Subdirección de la Red Nacional de Laboratorios del Instituto Nacional de Salud.

### Referencias

1. **Mortelmans K, Zeiger E.** The Ames Salmonella/microsome mutagenicity assay. *Mutat Res.* 2000;455:29-60. [http://dx.doi.org/10.1016/S0027-5107\(00\)00064-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0027-5107(00)00064-6)
2. **Ohe T, Watanabe T, Wakabayashi K.** Mutagens in surface waters: A review. *Mutat Res.* 2004;567:109-49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mrrev.2004.08.003>
3. **Villanueva CM, Kogevinas M, Grimalt JO.** Cloración del agua potable en España y cáncer de vejiga. *Gac Sanit.* 2001;15:48-53. [http://dx.doi.org/10.1016/S0213-9111\(01\)71517-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0213-9111(01)71517-8)
4. **Organización Mundial de la Salud.** Guías para la calidad del agua potable. Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2014. Disponible en: [http://apps.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf?ua=1](http://apps.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf?ua=1).
5. **United States Environmental Protection Agency - EPA.** Toxics Release Inventory TRI 2001. Fecha de consulta: 10 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.epa.gov/triexplorer/industry.htm>.
6. **Jiménez BE.** La contaminación ambiental en México. México: Editorial Limusa; 2001. p. 1-200.
7. **Nakamatsu N.** Calidad de agua en la red de distribución. Fecha de consulta: 12 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/nakamatzu.pdf>.

8. **Ministerio de la Protección Social.** Decreto 1575 de 2007. Fecha de consulta: 26 de junio de 2012. Disponible en: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec\\_1775\\_2007.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf).
9. **Secretaría Distrital de Salud.** Resolución 2190 de 1991. Fecha de consulta: 26 de marzo de 2012. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=662>.
10. **Caporali SA.** Calidad de los materiales y su impacto en la red pública y en las instalaciones prediales. Fecha de consulta: 9 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep48/calidad/calidad.html>.
11. **Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** Resolución 2115 de 2007. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Documents/resolucion%202115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf>.
12. **Organización Mundial de la Salud.** Intoxicación por plomo y salud. Fecha de consulta: 22 de diciembre del 2013. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>.
13. **The Environmental and Occupational Health Surveillance Program.** FACTS nitrato y nitrito en el agua potable. Fecha de consulta: 22 de diciembre del 2013. Disponible en: [http://www.state.nj.us/health/eoh/hhazweb/nitrate\\_sp.pdf](http://www.state.nj.us/health/eoh/hhazweb/nitrate_sp.pdf).
14. **Valdez L, Soria C, Miranda ML, Gutiérrez O, Pérez MI.** Efectos del flúor sobre el sistema nervioso central. *Neurología.* 2011;26:297-300. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nrl.2010.10.008>
15. **Pérez PE, Azcona MI.** Los efectos del cadmio en la salud. *Rev Esp Med Quir.* 2012;17:199-205.
16. **Rondeau V, Commenges D, Jacqmin-Gadda H, Dartigues JF.** Relation between aluminium concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: An 8-year follow-up study. *Am J Epidemiol.* 2000;152:59-66. <http://dx.doi.org/10.1093/aje/152.1.59>
17. **Freitas M, Brilhante O, Almeida LM.** Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Cad Saúde Pública.* 2001;17:651-60. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2001000300019>
18. **Organización Mundial de la Salud.** Aluminium in drinking-water. Fecha de consulta: 18 de marzo del 2014. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/en/aluminium.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/aluminium.pdf).
19. **Gómez RP, Rodríguez FC, Vera HI.** Análisis del agua para consumo humano distribuida en Bogotá vigilada por el Laboratorio de Salud Pública, 2000-2004. *Invest Segur Soc Salud.* 2006;8:213-40.
20. **Nava G, Mejía AL, Soler JF, Salgado M, Jordán JS, Guzmán BL, et al.** Estado de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia, 2007-2011. Bogotá: Instituto Nacional de Salud; 2012. p. 581.
21. **Nava G.** Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Bogotá: Instituto Nacional de Salud; 2011. p. 95.
22. **Nava G, Riaño DA, Martínez LC, Murillo C, Peralta A.** Manual de métodos fisicoquímicos básicos para el análisis de aguas para consumo humano. Bogotá: Instituto Nacional de Salud; 2011. p. 113.
23. **Ulitzur S, Lahav T, Ulitzur N.** A novel and sensitive test for rapid determination of water toxicity. *Environ Toxicol.* 2002;17:291-6. <http://dx.doi.org/10.1002/tox.10060>
24. **James R, Dindal A, Willenberg Z, Riggs K.** Environmental technology verification report. CheckLight, Ltd. ToxScreen II rapid toxicity testing system. Columbus: Battelle; 2003. p. 45.
25. **Environmental Protection Agency.** Environmental technology verification report. CheckLight, Ltd. ToxScreen II. Columbus: Battelle; 2006. p. 61.
26. **Clescen LS, Greenberg AE, Eaton AD.** Standard methods for the examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> edition. Washington, D.C.: American Public Health Association; 1999. p. 10-167.
27. **Edson EF, Fenwick ML.** Measurement of cholinesterase activity of whole blood. *Br Med J.* 1955;1:1218. <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.1.4923.1218>
28. **CheckLight.** ToxScreen Test Kit. Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2013. Disponible en: <http://www.checklight.biz/pdf/pcbtox/PCBTOXuserguideVer3.0.pdf>.
29. **World Health Organization.** Guidelines for drinking-water quality. Fecha de consulta: 3 de enero de 2014. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/fulltext](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext).
30. **Bitton G, Koopman B.** Bacterial and enzymatic bioassays for toxicity testing in the environment. *Rev Environ Contam Toxicol.* 1992;125:1-22. [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-2890-5\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-2890-5_1)
31. **Vieira JA, Benevides de Moraes P, Guimarães G, Queiroz SC, Rodrigues A.** Avaliação da metodologia de planejamento e controle da qualidade da operação no processo de distribuição do sistema de abastecimento de Água de Palmas. Fecha de consulta: 7 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes22/tl.pdf>.
32. **Campos P, Logrado R, Santos de Araújo V, Mendes L, Queiroz RD, Ferreira E, et al.** Qualidade da água distribuída e consumida pela população da cidade do Salvador: características e fatores determinantes. Fecha de consulta: 7 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/dsiete.pdf>.
33. **Estupiñán SM, Ávila SL.** Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Bojacá, Cundinamarca. *Nova.* 2010;8:206-12.
34. **Aguar P, Cepero JA, Coutin G.** La calidad del agua de consumo y las enfermedades diarreicas en Cuba, 1996-1997. *Pan Am J Public Health.* 2000;7:313-8. <http://dx.doi.org/10.1590/S1020-49892000000500004>
35. **Silva E, Ortiz JE, Murillo C, Nava G, Cárdenas O, Peralta A, et al.** Estudio de caracterización de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua utilizada en la industria de alimentos, Colombia, 2007. *Biomédica.* 2010;30:421-31. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v30i3.276>

36. **Serra G.** Estudio del biofilm: formación y consecuencias. Fecha de consulta: 9 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.adiveter.com/ftp/articles/A10700308.pdf>.
37. **Mendoza C, Rocha PJ.** Poliaminas: reguladores del crecimiento con múltiples efectos en las plantas. *Palmas*. 2002;23:39-46.
38. **Treguer R, Couvert A, Wolbert D, Suty H, Randon G.** Particulate products and new polymers for a more efficient removal of dissolved organic matter in drinking water resources. *Environ Technol*. 2007;28:861-9. <http://dx.doi.org/10.1080/09593332808618850>
39. **Politano ML, Campos P, Santos LR, Cunha M.** Avaliação das intervenções do programa bahia azul na qualidade da água distribuída pelo sistema de abastecimento da Cidade de Salvador, Bahia, Brasil. Fecha de consulta: 9 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/morbra.pdf>.