

# Caracterización físico-química y microbiológica del agua de un municipio del departamento de Boyacá (Colombia)

Liliana Dorado-González<sup>1</sup> , Mery Dueñas-Celis<sup>1</sup> , Sandra Helena Suescún-Carrero<sup>1</sup> 

## RESUMEN

**Introducción:** El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, si se utiliza para beber, uso doméstico, producir alimentos o fines recreativos. El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades.

**Objetivo:** Evaluar las características físico-químicas y microbiológicas de la red de distribución del acueducto urbano de un municipio de Boyacá.

**Materiales y métodos:** Estudio cuantitativo descriptivo transversal. Se tomaron muestras de agua en 13 puntos, 7 concertados y materializados de la red de distribución, uno en la bocatoma de entrada de la planta, dos pozos y tres nacimientos, de donde se abastece la población. Se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos de cada una de las muestras.

**Resultados:** En las muestras sin tratamiento hubo concentraciones altas de unidades platino, cobalto y turbiedad. El cloro residual libre en dos muestras de agua tratada estaba por debajo de los límites establecidos. Se detectaron microorganismos heterótrofos y coliformes en las muestras de agua obtenidas de fuentes de abastecimiento. En dos puntos se encontraron quistes de *Giardia* y ooquistes de *Cryptosporidium*. De las 13 muestras estudiadas, tres arrojaron un índice de riesgo por calidad del agua inviable sanitariamente. **Conclusiones:** Se evidenció que el agua se encuentra en un nivel de riesgo inviable sanitariamente, lo cual demuestra que el sistema de tratamiento es insuficiente para garantizar el suministro de agua apta para el consumo humano.

**Palabras clave:** calidad del agua; control de calidad del agua; coliformes; *Giardia*; *Cryptosporidium*.

<sup>1</sup> Grupo de Investigación del Laboratorio de Salud Pública de Boyacá, Secretaría de Salud de Boyacá (Tunja, Colombia).

**Autora de correspondencia:** Sandra Helena Suescún Carrero. Correo electrónico: sandrahsc@yahoo.com

### Citar este artículo así:

Dorado-González L, Dueñas-Celis M, Suescún-Carrero SH. Caracterización físico-química y microbiológica del agua de un municipio del departamento de Boyacá (Colombia). Rev Investig Salud Univ Boyacá. 2022;9(2):44-61. <https://doi.org/10.24267/23897325.825>

## Physical Chemical and Microbiological Characterization of Water of a Municipality of the Department of Boyacá-Colombia

### ABSTRACT

**Introduction:** Safe and easily accessible water is important to public health, whether it is used for drinking, domestic use, food production, or recreational purposes. Contaminated water and poor sanitation are linked to disease transmission.

**Objective:** Evaluate the physical chemical and microbiological characteristics of the distribution network of the urban aqueduct of a municipality of Boyacá.

**Materials and methods:** Cross-sectional descriptive quantitative study, water samples were taken at thirteen points, seven points agreed and materialized from the distribution network, one at the entrance of the plant, one in a deep well and in three births, where it is supplied the population. Physical, chemical and microbiological analyzes were performed.

**Results:** The untreated samples showed high levels of cobalt platinum units and turbidity. The free residual chlorine in two samples of treated water was below the established limits. Heterotrophic and Coliform microorganisms were detected in water samples obtained from sources of supply. At two points, *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts were found. Of the Thirteen samples studied, three showed a Risk Index for sanitary water quality.

**Conclusions:** It is evident that the water is at a level of sanitary unfeasible risk, which demonstrates that the treatment system is not sufficient to guarantee the supply of water suitable for human consumption.

**Keywords:** water quality; water quality control; coliforms; *Giardia*; *Cryptosporidium*.

## Caracterização físico-química e microbiológica da água de um município do departamento de Boyacá (Colômbia)

### RESUMO

**Introdução:** Água segura e de fácil acesso é importante para a saúde pública, seja ela usada para beber, uso doméstico, produção de alimentos ou para fins recreativos. A água contaminada e o saneamento precário estão ligados à transmissão de doenças.

**Objetivos:** Avaliar as características físico-químicas e microbiológicas da rede de distribuição do aqueduto urbano de um município de Boyacá.

**Materiais e métodos:** Estudo quantitativo descritivo transversal. Foram coletadas amostras de água em 13 pontos, 7 concertados e materializados da rede de distribuição, um na entrada da planta, dois poços e três nascentes, dos quais a população é abastecida. Foram realizadas análises físicas, químicas e microbiológicas em cada uma das amostras.

**Resultados:** Nas amostras não tratadas havia concentrações altas de unidades platina, cobalto e turbidez. O cloro residual livre em duas amostras de água tratada estava abaixo dos limites estabelecidos. Microrganismos heterótrofos e coliformes foram detectados em amostras de água obtidas de fontes de abastecimento. Os cistos de *Giardia* e os oocistos de *Cryptosporidium* foram encontrados em dois pontos. Das 13 amostras estudadas, três apresentaram um índice de risco para a qualidade não higiênica da água.

**Conclusões:** Ficou evidente que a água está em um nível de risco sanitário inviável, o que mostra que o sistema de tratamento é insuficiente para garantir o abastecimento da água adequada para o consumo humano.

**Palavras-chave:** Qualidade da água; controle de qualidade da água; coliformes; *Giardia*; *Cryptosporidium*.

## INTRODUCCIÓN

El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, si se utiliza para beber, uso doméstico, producir alimentos o fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos es un factor importante en el crecimiento económico de los países y contribuye en gran medida a reducir la pobreza. El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como cólera, otras diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis. Si no hay servicios de agua y saneamiento, o si estos son insuficientes o están gestionados de forma inapropiada, la población estará expuesta a riesgos para su salud, que son prevenibles. La Organización Mundial de la Salud estima que unas 829 000 personas mueren cada año de diarrea, como consecuencia de la insalubridad del agua, de un saneamiento insuficiente o de una mala higiene de manos (1).

El agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas. La valoración de la calidad del agua puede entenderse como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con su calidad natural, los efectos humanos y usos posibles (2).

La demanda total de agua en Colombia ha crecido aceleradamente en las últimas décadas, en tanto que las extracciones del líquido para uso y consumo humano se han incrementado considerablemente. En Colombia, por año, se utilizan 16 000 millones de metros cúbicos de agua para el sector agrícola; más del 20% del agua de los departamentos del país está destinada para uso agrícola, y otros sectores en los que se presenta mayor demanda de agua son energía, pecuario y doméstico (3).

En el país, varios estudios, en diferentes municipios, han evaluado la calidad de agua, como en Bogotá y Soacha, en el que la conductividad, el color y los nitratos presentaron valores permisibles; el pH y la turbiedad tuvieron una ligera tendencia a presentar concentraciones altas y, el cloro residual, cantidades bajas. Además, 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 alguno (4).

En otro estudio desarrollado en dos municipios del departamento del Cesar se analizaron propiedades microbiológicas y fisicoquímicas del agua. Se encontró en el 84,94% *Pseudomonas aeruginosa*; en el 46,1 %, *Giardia* spp., y un 22,18% de *Cryptosporidium* spp. En relación con los resultados fisicoquímicos, estos indicaron que de los aljibes muestreados solo un 4,3% contenía agua apta para riego, sin que su uso acarree riesgos para la salud (5). En el municipio de Puente

Nacional (departamento de Santander) se determinó la calidad del agua mediante un análisis físico-químico que reportó cuantificación de hierro elevado y nivel de turbiedad inadecuado, lo que puede afectar el sabor y el aspecto del agua. El recuento de coliformes totales fue mayor a 300 unidades formadoras de colonias por cada 100 ml, con identificación de *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterococcus*, lo que indica que el agua no es apta para consumo humano (6).

En Colombia, las autoridades de salud realizaron la vigilancia de la calidad del agua en 29 departamentos y la ciudad de Bogotá; sin embargo, no se tuvieron reportes de la calidad del agua de los departamentos del Amazonas, Guaviare y Chocó, debido a dificultades político-administrativas y de telecomunicaciones que existen en estas regiones. El resultado de la vigilancia de la calidad del agua en 2015, con base en el Índice de Riesgo por Calidad del Agua (IRCA), mostró que el 10%, que corresponde a 3 departamentos (Quindío, Arauca y San Andrés y Providencia), se clasificaron en nivel sin riesgo, con un rango de 0,0-5,0. El 26,6%, que equivale a 7 departamentos y Bogotá D.C. (Antioquia, Atlántico, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Risaralda y Santander), se clasificaron en nivel de riesgo bajo, que corresponde a un rango de 5,1 a 14,0. El 46,7%, que corresponde a 14 departamentos (Bolívar, Boyacá, Caquetá, Cauca, Casanare, Guainía, La Guajira, Magdalena, Meta,

Norte de Santander, Sucre, Vaupés, Valle del Cauca y Vichada), se ubicaron en nivel de riesgo medio (14,1-35,0). Por último, el 16,7%, que corresponde a cinco departamentos (Caldas, Huila, Nariño, Tolima y Putumayo), están con niveles de riesgo alto (35,1-80,0) (7).

El Ministerio de Salud y Protección Social, el Ministerio de Vivienda y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible han emitido normas que regulan las responsabilidades de los diferentes actores para poder ejecutar acciones de vigilancia a la calidad del agua mediante procesos sistemáticos y permanentes de recolección, organización, análisis, interpretación, actualización y divulgación de datos específicos relacionados con la salud y sus determinantes, con el fin de utilizarlos en la planificación, ejecución y evaluación de la práctica en salud pública. Por su parte, el departamento de Boyacá ha venido desarrollando acciones de inspección, vigilancia y control, relacionadas con la calidad del agua para consumo humano, basadas en las competencias dadas por la Ley 715 de 2001 (8). De acuerdo con las diferentes categorías municipales, se asignan responsabilidades a las autoridades de salud sobre los niveles de vigilancia, según lo descrito en el Decreto 1575 de 2007 (9) y la Resolución 2115 del mismo año (10), los cuales reglamentan los niveles permisibles de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

Así mismo, el Laboratorio Departamental de Salud Pública de Boyacá (LDSP), como apoyo a la vigilancia, lleva a cabo análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos a muestras de agua tomadas en las redes de distribución de las empresas prestadoras del servicio de acueducto (EPSA), y con ello cumple con lo establecido en la Resolución 811 de 2008 (11), con el objeto de garantizar la calidad y confiabilidad en los resultados. Estos análisis se realizan según los estándares y lineamientos establecidos por el Instituto Nacional de Salud de Colombia, como referente de la red de laboratorios para el control y vigilancia de la calidad del agua. Es obligación de las autoridades sanitarias velar por el cumplimiento de las exigencias normativas; por lo tanto, es importante aunar esfuerzos y establecer estrategias para implementar acciones que permitan que la población tenga agua de buena calidad. Dado lo anterior, el propósito de este trabajo fue evaluar las características físico-químicas y microbiológicas de la red de distribución del acueducto urbano de un municipio de Boyacá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Tipo y área de estudio

Este fue un estudio cuantitativo-descriptivo transversal. Se tomaron muestras de agua en trece puntos de un municipio de Boyacá. Siete corresponden a ocho de los puntos representa-

tivos de toda la red de distribución concertados y materializados de la red de la EPSA, y cumplen con lo establecido para la vigilancia rutinaria de la calidad de agua. Según la Resolución 811 de 2008 (11), no fue posible la toma de la muestra en uno de los puntos. Se incluyeron fuentes de abastecimiento: la bocatoma de entrada de la planta de tratamiento, tres nacimientos y dos pozos (un pozo profundo de la planta de tratamiento sur y a la salida de este mismo pozo), de donde se abastece la población, debido a la escasez del recurso hídrico en el municipio (tabla 1).

**Tabla 1.** Puntos de muestra y sitios de análisis con sus respectivas coordenadas

Muestra	Sitio de análisis	Coordenada
1.	Bocatoma de la entrada a la planta de tratamiento de agua potable del municipio estudiado. Agua sin tratamiento	N 5°37'26,5" W 73°47'60,9"
2.	Punto final (código 0001 ubicado en la calle 7 # 12-43). Agua con tratamiento	N 5°36'87" W 73°49'44"
3.	Punto medio (código 0002 ubicado en la calle 2 # 9-39 frente a la casa B27). Agua con tratamiento	N 5°36'54" W 73°49'52"
4.	Punto final (código 0003 ubicado en la carrera 9 # 4-65). Agua con tratamiento	N 5°36'28" W 73°49'80"
5.	Punto inicial (código 0005 ubicado en la calle 21 # 4-48). Agua con tratamiento	N 5°36'93" W 73°48'66"
6.	Punto final (código 0006 ubicado en la carrera 7 # 30-39). Agua con tratamiento	N 5°36'47" W 73°48'44"

7.	Punto medio (código 0007 ubicado en la carrera 13 # 18-60). Agua con tratamiento	N 5°37'03" W 73°49'30"
8.	Punto final (código 0008 ubicado en la carrera 21 # 30-39). Agua con tratamiento	N 5°36'54" W 73°49'52"
9.	Nacimiento Pilitas. Agua sin tratamiento	N 5°37'22,3" W 73°48'44,8"
10.	Nacimiento Veranitas. Agua sin tratamiento	N 5°36'23,2" W 73°48'19,7"
11.	Pozo profundo # 3 sur. Agua sin tratamiento	N 5°36'16,4" W 73°49'55,1"
12.	Salida Pozo profundo # 3 sur. Agua sin tratamiento	N 5°36'16,4" W 73°49'55,1"
13.	Carrera 10 vía Caldas. Agua sin tratamiento	N 5°36'29,6" W 73°50'06,9"

## Toma de muestras

Las muestras las recogieron técnicos en saneamiento ambiental, de acuerdo con los lineamientos técnicos del LDSP (12).

## Procesamiento de las muestras

En campo se determinaron los parámetros cloro residual libre, pH y conductividad. Las muestras se transportaron al LDSP para su respectivo análisis y se garantizó la cadena de custodia. Se realizaron análisis físicos (color, turbiedad, pH y conductividad) y químicos (alcalinidad total, aluminio, calcio, cloruros, cloro residual libre, cobre, dureza total, fluoruros, fosfatos, hierro total, magnesio,

nitritos y sulfatos), mediante técnicas nefelométricas, espectrofotométricas, potenciométricas y gravimétricas. Además, se hicieron análisis bacteriológicos (heterótrofos, coliformes totales y *Escherichia coli*), mediante la técnica de sustrato definido, descrita en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*; recuento de microorganismos heterótrofos, por medio de la técnica 9215B del Standard Methods (13) en todos los puntos de análisis, y análisis parasitológicos (*Giardia* y *Cryptosporidium*), mediante el método 1623,1 de 2012 de la Environmental Protection Agency, en dos puntos: uno en la bocatomía y uno en la red de distribución (14).

## Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los ensayos analíticos de cada una de las muestras se tabularon en el programa Microsoft Excel®, se registraron en el Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano y se realizó el cálculo del IRCA para determinar el riesgo en el que se encontraba cada uno de los puntos estudiados.

## Consideraciones éticas

Según la Resolución 8430 de 1993, expedida por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, esta investigación se clasifica en grado de riesgo mínimo. La recolección de las muestras y la

información se ajustaron a las normas éticas de garantía de la confidencialidad.

## RESULTADOS

Según la tabla 2, en el análisis microbiológico no hubo microorganismos heterótrofos, coliformes totales y *E. coli* en las muestras procedentes de los puntos concertados y materializados, correspondientes a la red de distribución y a la salida del pozo profundo 3. En las muestras tomadas

de fuentes de abastecimiento, se detectaron microorganismos heterótrofos y coliformes totales. En tres de las cinco fuentes muestreadas se evidenció la presencia de *E. coli*, como indicador de contaminación fecal.

En los dos puntos en los que se evaluó la presencia de quistes de *Giardia* y ooquistes de *Cryptosporidium* se encontraron estos parásitos. Para la bocanoma hubo recuentos inferiores a lo reportado en el punto 3 de la red de distribución (tabla 2).

**Tabla 2.** Análisis microbiológico de las muestras estudiadas

Parámetros	Heterótrofos (UFC/ml)	Coliformes totales (NMP/100 ml)	Escherichia coli (NMP/100 ml)	Giardia (quistes/l)	Cryptosporidium (ooquistes/l)
1	11300	2420	66	12,4	8,7
2	<10	0	0	SD	SD
3	<10	0	0	SD	SD
4	<10	0	0	SD	SD
5	<10	0	0	SD	SD
6	<10	0	0	SD	SD
7	<10	0	0	196,4	25,2
8	<10	0	0	SD	SD
9	350	27	0	SD	SD
10	4290	2420	435	SD	SD
11	4380	2420	0	SD	SD
12	<10	0	0	SD	SD
13	<10	2420	1414	SD	SD
<b>Valores aceptables</b>	<100	0	0	0	0

UFC: unidades formadoras de colonias; NMP: Número más probable; SD: sin dato.

**Tabla 3. Análisis físico de las muestras estudiadas**

Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Valores aceptables
Color aparente (UPC)	500,0	45	40,0	40,0	30,0	30,0	30,0	15,0	5,0	5,0	200,0	10,0	30,0	≤15
Turbiedad (NTU)	102,6	6,08	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	1,87	0,02	0,02	357,8	0,40	13,72	≤2,0
pH (unidades)	5,21	8,2	7,34	7,67	6,57	6,55	6,60	7,0	7,63	6,66	7,62	7,99	7,4	≥6,5 y ≤9,0
Conductividad (μS/cm)	419	772	771	750	731	726	728	759	640	99,1	541	554	381	≤ 1000

1: Bocatoma; 2: punto final (código 0001); 3: punto medio (código 0002); 4: punto final (código 0003); 5: punto inicial (código 0005); 6: punto final (código 0006); 7: punto medio (código 0007); 8: punto final (código 0008); 9: nacimiento pila 3 de Julio; 10: nacimiento Veranitas; 11: pozo profundo 3 sur; 12: salida pozo profundo 3 sur; 13: carrera 10 vía Caldas.

UPC: unidades platino cobalto; NTU: unidades nefelométricas de turbidez.

En los parámetros físicos analizados se evidenció que para color aparente, las muestras sin tratamiento presentaron unidades platino cobalto (UPC) altas, lo mismo que para el parámetro de turbiedad, teniendo en cuenta los límites permisibles en la norma. En cuanto al parámetro de pH, la muestra procedente de la bocatoma fue la única que tuvo unidades por debajo de lo establecido en la norma. En todas las muestras, el parámetro de conductividad estuvo dentro de los límites permisibles (tabla 3).

En la tabla 4 se observa que de los 13 parámetros químicos analizados, 5 (aluminio, cloruros, fluoruros, magnesio y sulfatos) se encuentran dentro de los límites permitidos por la norma, tanto en las muestras tratadas como en las no tratadas. El cloro residual libre en dos muestras de agua tratada estaba por debajo de los límites establecidos.

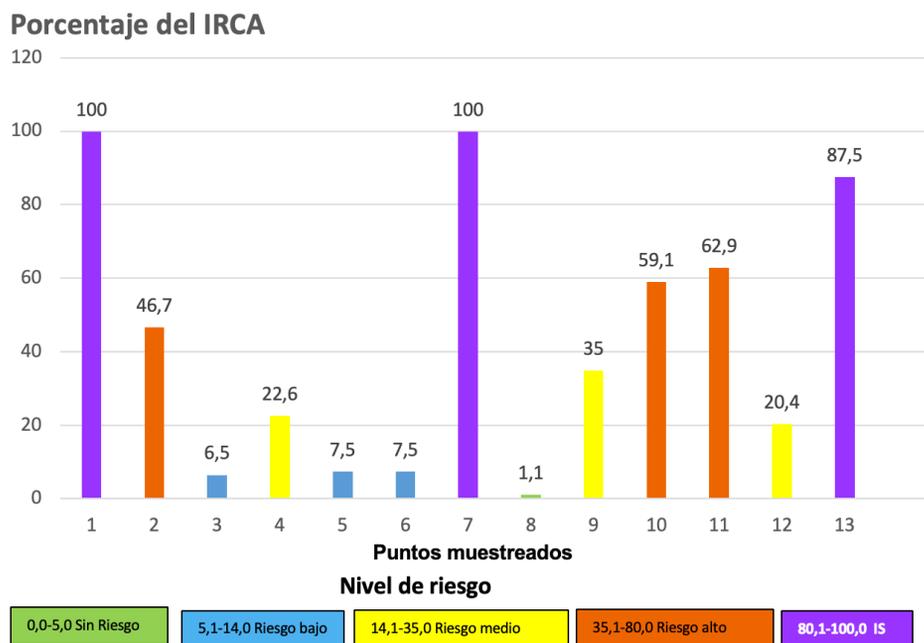
**Tabla 4. Análisis químico de las muestras estudiadas**

Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Valores aceptables
Cloro residual libre (mg de Cl <sub>2</sub> /l)	0,0	0,2	1,0	0,2	1,5	1,2	1,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	≥0,3 y ≤2,0
Alcalinidad total (mg de CaCO <sub>3</sub> /l)	4,27	218,7	54,17	44,18	237,04	236,59	241,49	19,73	247,61	4,86	257,39	213,38	SD	≤200
Calcio (mg de Ca/l)	58,4	44,9	36,6	40,2	34,6	34,3	37,0	61,4	112,5	12,2	67,8	45,1	88,6	≤60
Fosfatos (mg de PO <sub>4</sub> /l)	0,31	0,016	0,003	0,012	0,007	0,012	0,013	0,006	0,292	0,084	1,155	0,038	0,179	≤0,5
Magnesio (mg de Mg/l)	7,4	20,4	13,6	7,3	11,4	11,7	13,2	1,0	3,5	10,8	13,7	11,5	SD	≤36
Dureza total (mg de Ca-CO <sub>3</sub> /l)	176,4	196,0	147,0	130,6	133,4	133,6	146,6	157,4	295,0	75,0	225,4	160	SD	≤300
Sulfatos (mg de SO <sub>4</sub> /l)	5,0	SD	192,8	57,1	176,3	186,5	178,7	192,5	190,5	103,2	46,8	41	SD	≤250
Hierro total (mg de Fe/l)	0,717	0,024	0,019	0,022	0,008	0,015	0,010	0,013	0,02	0,020	0,750	0,275	1,335	≤0,3
Cloruros (mg de Cl/l)	36,8	75,4	64,7	13,7	71,2	70,9	71,4	58,1	65,6	44,3	24,5	64,3	15,2	≤250
Nitritos (mg de NO <sub>3</sub> /l)	0,542	0,202	0,077	0,05	0,037	0,038	0,041	0,032	0,027	0,034	0,531	0,112	SD	≤0,1
Aluminio (mg de Al <sup>3</sup> /L)	0,200	2,02	0,088	0,07	0,116	0,086	0,194	0,198	0,003	0,116	0,006	0,039	SD	≤0,2
Fluoruros (mg de F/l)	0,36	0,51	0,17	0,11	0,33	0,37	0,35	0,45	0,27	0,31	0,34	0,21	0,07	≤1
Cobre (mg/l Cu)	0,92	0,04	0,03	0,20	0,07	0,04	0,05	0,05	0,55	0,04	3,2	0,03	0,03	≤1,0

1: Bocatoma; 2: punto final (código 0001); 3: punto medio (código 0002); 4: punto final (código 0003); 5: punto inicial (código 0005); 6: punto final (código 0006); 7: punto medio (código 0007); 8: punto final (código 0008); 9: nacimiento pila 3 de Julio; 10: nacimiento Veranitas; 11: pozo profundo 3 sur; 12: salida pozo profundo 3 sur; 13: carrera 10 vía Caldas.

SD: sin datos.

**Figura 1.** Distribución de los valores de Índice del Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) de las muestras estudiadas



## DISCUSIÓN

De las 13 muestras estudiadas, 3 arrojaron un IRCA inviable sanitariamente, 2 por evidenciar contaminación con quistes de *Giardia* y ooquistes de *Cryptosporidium*, y la otra, por presentar varios parámetros fisicoquímicos fuera de los límites permitidos por la norma. De las muestras, 12 representan algún riesgo para la salud por evidenciar parámetros físicos, químicos o bacteriológicos que incumplen con los valores permitidos para agua de consumo humano, y una muestra no evidenció ningún riesgo (figura 1).

De acuerdo con los resultados obtenidos, en las muestras correspondientes a agua tratada se determinaron concentraciones de cloro residual libre que cumplen con los límites permisibles según la norma (0,3 a 2 mg/l). Ello está correlacionado con los resultados obtenidos en el análisis de detección de microorganismos heterótrofos, coliformes totales y *E. coli*, donde no se detectaron, debido a que el cloro en el proceso de potabilización actuó como desinfectante efectivo en el tratamiento.

Sin embargo, el análisis de *Giardia* y *Cryptosporidium* arrojó recuentos de quistes y ooquistes de estos parásitos en aguas tratadas, por ser organismos resistentes al proceso de desinfección con cloro, lo que concuerda con estudios realizados en Venezuela, donde se identificó la presencia de *Cryptosporidium* y *Giardia* en aguas de consumo humano antes del tratamiento y después de este (15). En São Paulo (Brasil) se reportó un 46% de muestras de agua para consumo humano con *Giardia* y un 7% con *Cryptosporidium* en muestras (16). Lo anterior concuerda con lo reportado en la literatura, respecto a que los ooquistes de *Cryptosporidium* spp. permanecen viables en el agua 140 días y son muy resistentes a la mayoría de los desinfectantes corrientes, lo que dificulta mucho, e incluso impide su destrucción por la cloración normal de las aguas (17).

El agua para el consumo humano tiene una connotación muy especial, sobre todo si se parte de que es la base de la vida misma. Por eso, existen algunos factores relacionados, como la presencia de calcio, magnesio, pH y conductividad, que son parámetros que indican la calidad del agua (18). Dentro de los parámetros físicos analizados en el presente estudio, se encontró que las muestras procedentes de las fuentes río Suárez y pozos profundos que abastecen a la comunidad presentan cantidades altas de color 500 UPC y turbiedad 357,8 UNT. Estos resultados revelan la carga orgánica, factor que influye notablemente en la

eficiencia del tratamiento del agua, principalmente en la cloración (19). Por otra parte, el parámetro de sólidos suspendidos estaba muy elevado, lo que indica el alto impacto de las actividades económicas de la región, como son la minería, los hatos lecheros, las curtiembres, entre otros (20), sobre la calidad del agua.

Los lixiviados que llegan por escorrentía al río Suárez elevan las concentraciones de hierro y afectan el color del agua de la fuente, por lo que se evidenció un color rojo ladrillo a simple vista. Esto hace necesario que en el tratamiento de esta agua se utilicen grandes cantidades de coagulante (como sulfato o polímeros de aluminio) y se adicione un alcalinizante (como el hidróxido de sodio) para generar la reacción de oxidación que permita la precipitación del hierro y removerlo del agua. Por esta razón, en la red, las concentraciones de hierro se encuentran en valores aceptables según la norma, y aunque el color en la mayoría de las muestras de red se encuentra por fuera de la norma (mayor a 15 UPC), sí se logra una efectividad en la remoción de materia orgánica, al pasar de concentraciones de 500 UPC a 40 y 30 UPC. Sin embargo, el empleo de sales de aluminio aumenta las concentraciones de aluminio, como se evidencia en el punto final, con un valor de 2,02 mg/l. Por lo anterior, es importante tener en cuenta que la ingestión de concentraciones significativas de aluminio puede tener efectos neurotóxicos y se ha planteado como un factor

de riesgo para el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer (21,22).

En el presente estudio se encontraron variaciones en los valores de alcalinidad total a lo largo de la red de distribución, que se relacionan con los vertimientos de los insumos esenciales de la industria de las curtiembres. Dicha actividad se evidencia en el mapa de riesgo del municipio, que genera descargas de soluciones diluidas de ácidos y bases. Estos resultados son similares a lo reportado en un estudio anterior, en el cual encontraron variaciones en los valores de alcalinidad en diferentes puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo y en la zona de curtiembres del río Bogotá, en el municipio de Villapinzón (23).

La presencia de calcio y magnesio en proporciones muy altas en el agua genera el fenómeno de las *aguas duras*, como es el caso de la fuente que abastece el acueducto del municipio estudiado. Este hallazgo tiene consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana (24). Para el presente estudio, todos los puntos caracterizados presentan una concentración de dureza de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) dentro de los valores máximos permitidos en Colombia, que son  $\leq 300$  mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , y que coincide con lo reportado en un estudio en Bogotá (25). En contraste, en un estudio realizado en Costa Rica se obtuvieron valores inferiores de dureza, como 95,26 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y en el que citan como valor de referencia

hasta 180 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , según la normatividad del país (24,26).

Las concentraciones de los puntos monitoreados en este estudio están entre 75 y 295 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , que, de acuerdo con los valores establecidos por la Organización Mundial de la Salud, las clasifica como aguas moderadamente duras y muy duras (24). Ello puede ser un factor de riesgo para la producción de cálculos renales, uretrales y vías urinarias inferiores (18).

En la muestra del pozo profundo se encontró un valor de 3,2 mg/l de cobre, lo cual es una característica química que tiene reconocido efecto adverso en la salud humana. Algunos de los factores que influyen en la presencia de cobre en las aguas son la dureza, la alcalinidad del agua, la fuerza iónica, el pH y el potencial *redox*, debido a procesos como la formación de complejos con ligandos inorgánicos y orgánicos; absorción en óxidos metálicos, arcillas y material orgánico particulado, y bioacumulación e interacción entre sedimento y agua. Se encuentran antecedentes, reportados en la literatura, sobre las posibles causas de la presencia de cobre en aguas de consumo, derivada de reacciones de corrosión/lixiviación del material de las cañerías (27).

A partir de los análisis químicos hechos a las muestras procedentes de las fuentes que abastecen al municipio, se determinó que las con-

centraciones para fluoruros estaban dentro de los límites permisibles establecidos por la normatividad vigente (Resolución 2115 de 2007), inferior a lo publicado en un estudio mexicano, donde se encontraron valores entre 0,44 y 1,28 mg/l, algunos que superan las concentraciones máximas permisibles. Tales resultados indican que la población está expuesta a la ingesta excesiva de fluoruros por vía del agua de consumo, y ello representa un riesgo para la salud pública, debido a que el consumo de fluoruro proveniente de diferentes fuentes podrían propiciar el incremento y la aparición de nuevos casos de fluorosis dental en la población infantil y fluorosis esquelética en la población adulta (28).

Seis muestras procedentes de los puntos de la red de distribución de zona urbana, donde se evaluaron parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos, presentaron un IRCA de 15,3%, que lo ubican en riesgo medio. Esto coincide con lo informado en un estudio en el departamento de Boyacá, en el que se ubica el municipio estudiado en el mismo riesgo (29). Las dos muestras que evidenciaron presencia de *Giardia* y *Cryptosporidium* se clasificaron en nivel de riesgo inviable, teniendo en cuenta lo descrito en la Resolución 2115 de 2007. Dicho aspecto favorece el padecimiento de enfermedades agudas y crónicas, como patologías parasitológicas, intoxicaciones, alteraciones en el tránsito digestivo, entre otras (30). Como limitaciones del estudio, no fue posible la recolección

de la muestra en uno de los puntos concertados y materializados de la red de distribución de la EPSA, debido a la falta de agua en ese punto el día de la visita al lugar.

## CONCLUSIONES

La evaluación a las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del municipio estudiado evidenció que las muestras sin tratamiento presentaron concentraciones altas de UPC y turbiedad. El cloro residual libre en dos muestras de agua tratada estaba por debajo de los límites establecidos. Se detectaron microorganismos heterótrofos y coliformes en las muestras de agua obtenidas de fuentes de abastecimiento. En dos puntos de análisis se encontraron quistes de *Giardia* y ooquistes de *Cryptosporidium*. De las 13 muestras estudiadas, 3 arrojaron un IRCA inviable sanitariamente, lo que dio como resultado agua no apta para el consumo humano, de acuerdo con el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007. Se recomienda evaluar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de los diferentes municipios, para determinar el IRCA del departamento.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio, es importante tener en cuenta que la normatividad vigente implica la vigilancia rutinaria con análisis básicos, así como resultados que demuestren que el sistema implementado es

eficaz y evidencie agua con un índice de calidad sin riesgo. Sin embargo, al evaluar con exámenes especiales complementarios a la vigilancia rutinaria como metales (cobre), *Giardia* y *Cryptosporidium*, el agua está en un nivel de riesgo invariable sanitariamente, lo cual indica que el sistema de tratamiento es insuficiente para garantizar el suministro de agua apta para el consumo humano.

### AGRADECIMIENTOS

A los técnicos en saneamiento ambiental de la Secretaría de Salud de Boyacá, por la toma, la conservación y el transporte de muestras de agua.

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés alguno.

### FINANCIACIÓN

Laboratorio Departamental de Salud Pública y Secretaría Departamental de Salud, Gobernación de Boyacá.

### REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud. Agua para consumo humano [internet]. 2022 [citado 2022 jul 23]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

2. Fernández-Rodríguez M, Guardado-Lacaba RM. Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa-Cuba. *Min Geol.* 2021;37(1):105-19.

3. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. Conozca cómo podría disminuir la demanda de agua en el sector agrícola [internet]. 2022 mar 14. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/conozca-como-podria-disminuir-la-demanda-de-agua-en-el-sector-agricola/>

4. Silva E, Villarreal ME, Cárdenas O, Cristancho CA, Murillo C, Salgado MA, et al. Inspección preliminar de algunas características de toxicidad en el agua potable domiciliaria, Bogotá y Soacha. *Biomédica* 2015;35(Supl 2):152-66. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2538>

5. Vence Márquez L, Rivera González M, Osorio Bayter Y, Castillo Sarabia AB. Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia. *Rev Investig Agrar Ambient.* 2012;3(2):27-35. <https://doi.org/10.22490/21456453.953>

6. Correales-Ramírez LC, Santamaría-Moaquera YN, Luccioli-Peña DA, Castañeda-Casas MA.

- Evaluación de la calidad del agua de la vereda río Suárez de Puente Nacional, Santander. NOVA. 2021;19(37):79-98. <https://doi.org/10.22490/24629448.5497>
7. Ministerio de Salud y Protección Social, Subdirección de Salud Ambiental. Informe nacional de calidad del agua para consumo humano (INCA) 2016 [internet]. Bogotá; 2018 may. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/ssa-inca-2016.pdf>
  8. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Ley 715. In: Congreso de Colombia. 2001. Fecha de consulta: 15 de octubre de 2021. Disponible en: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/5a684731419aae4305256eee006e1fc8/79b997abc-e-53413c0525785a007a72e3?OpenDocument>
  9. Decreto 1575/2007 del 9 de mayo, por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano [internet]. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>
  10. Resolución 2115/2007 de 22 de junio, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano [internet]. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Disponible en: [https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res\\_2115\\_de\\_2007.pdf](https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf)
  11. Resolución 811/2008 de 5 de marzo, por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución [internet]. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0811-2008>
  12. Instituto Nacional de Salud. Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio [internet]; 2011. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
  13. Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD, editores. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20.<sup>a</sup> ed. Washington: American Public Health Association; 2012.

14. Environmental Protection Agency (EPA). Method 1623.1: *Cryptosporidium* and *Giardia* in water filtration/IMS/FA [internet]. 2012. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/epa-1623.pdf>
15. Cermeño J, Arenas J, Yori N, Hernández I. *Cryptosporidium parvum* y *Giardia lamblia* en aguas crudas y tratadas del estado Bolívar, Venezuela. *Univ Cienc Tecnol* [internet]. 2008;12(46):39-42. Disponible en: [http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212008000100006&lng=es&tIng=es](http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212008000100006&lng=es&tIng=es)
16. De Almeida Mastropaulo A, Pepe Razzolin MT. Qualidade da água de sistema alternativo coletivo de abastecimento para consumo humano: ocorrência de cistos de *Giardia* oocistos de *Cryptosporidium* em poços de São Paulo-SP. *Rev Bras Cienc Saúde*. 2018;22(3):237-46. <https://doi.org/10.4034/RBCS.2018.22.03.07>
17. Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid RM, Gutiérrez-Builes LA. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev Fac Nac Salud Pública*. 2017;35(2):236-47. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
18. Rodríguez Zamora J. Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. *Rev Pensamiento Actual*. 2009;9(12-13):125-34.
19. Guzmán BL, Nava G, Díaz P. La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*. 2015;35 (supl. 2):177-90. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2511>
20. Gobernación de Boyacá, Secretaría de Salud. Mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano del centro urbano del municipio de Chiquinquirá-Boyacá [internet]. 2014. Disponible en: [chrome- https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/07/images\\_Documentos\\_Salud\\_Publica\\_Ano\\_2014\\_MAPA-DE-RIESGO-DE-CHIQUINQUIRA.pdf](https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/07/images_Documentos_Salud_Publica_Ano_2014_MAPA-DE-RIESGO-DE-CHIQUINQUIRA.pdf)
21. 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. <https://doi.org/10.1093/aje/152.1.59>
22. Freitas M, Brillhante 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. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000300019>
23. Suárez Escobar AF, García Ubaque CA, Vaca Bohórquez ML. Identificación y evaluación de la contaminación del agua por curtiembres en el municipio de Villapinzón. *Tecnura*. 2012;16:185-94.
24. Reyes Y, Vergara I, Torres O, Díaz M, González E. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Rev Ing Investig Desarr*. 2016;16(2):66-77. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
25. Fajardo Zapata A, Gaines Acuña S, Muñoz-Silva V, Otero Jiménez V, Mendoza Montaña VA. Calidad del agua y características habitacionales de un barrio en Bogotá. *NOVA*. 2017;15 (27):31-6. <https://doi.org/10.22490/24629448.1956>
26. Mora Alvarado D, Alfaro Herrera N, Portuquez CF, Peinador Brolatto M. Cálculos en las vías urinarias y su relación con el consumo de calcio en el agua de bebida en Costa Rica. *Rev Costarric Salud Pública* [internet]. 2000 dic [citado 2022 abr 29];9(17):61-70. Disponible en: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-1429200000200008&lng=en](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-1429200000200008&lng=en)
27. Sancha AM, Lira L. Presencia de cobre en aguas de consumo humano: causas, efectos y soluciones [internet]. Universidad de Chile; 2014. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/sancha.pdf>
28. Galicia Chaón L, Molina Frechero N, Oropez Oropeza A, Gaona E, Juárez López L. Análisis de la concentración de fluoruro en agua potable de la delegación Tlahuac, Ciudad de México. *Rev Int Contam Ambie*. 2011;27(4):283-9.
29. Dueñas-Celis MY, Dorado-González LM, Espinosa-Macana P (q. e. p. d.), Suescún-Carrero SH. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano en zonas urbanas del departamento de Boyacá, Colombia 2004-2013. *Rev Fac Nac Salud Pública*. 2018;36(3):101-9. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v36n3a10>
30. Rojas Rodríguez DL, Colmenares Cruz RA. Análisis de los índices de riesgo de calidad de agua potable (IRCA) en Boyacá entre 2016-2019. *Agricolae Habitat*. 2021;4(1):30-44. <https://doi.org/10.22490/26653176.4315>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional