

## INVESTIGACIÓN ORIGINAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.59728>

# Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia

*Effect of anthropic activities on the physicochemical and microbiological characteristics of the Bogotá River along the municipality of Villapinzón-Cundinamarca*

Recibido: 23/08/2016. Aceptado: 18/11/2016.

Jorge Alberto Díaz-Martínez<sup>1,2,3,4,5</sup> • Carlos Arturo Granada-Torres<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Manizales - Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas - Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD) - Manizales - Colombia.

<sup>2</sup> Fundación HomoNatura - Coordinación de Investigación - Bogotá D.C. - Colombia.

<sup>3</sup> Universidad Santo Tomas - Facultad de Ciencias y Tecnologías - Administración Ambiental - Bogotá D.C. - Colombia.

<sup>4</sup> Universidad Santo Tomas - Facultad de Ciencias y Tecnologías - Maestría en Gestión de Cuencas hidrográficas - Bogotá D.C. - Colombia.

<sup>5</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Facultad de Medio Ambiente - Ingeniería Ambiental - Bogotá D.C. - Colombia.

<sup>6</sup> Instituto de Astrobiología de Colombia - Regional Eje Cafetero - Laboratorio de Astrobiología y Biotecnología Ambiental - Manizales - Colombia.

Correspondencia: Jorge Alberto Díaz-Martínez. Coordinación de Investigación, Fundación HomoNatura. Calle 67D No. 59-65, interior 2, oficina 301. Teléfono: +57 1 2503248; celular: +57 3114726096. Bogotá D.C. Colombia. Correo electrónico: jalbertdiazm@gmail.com.

## | Resumen |

**Introducción.** El río Bogotá es uno de los más contaminados del mundo; esto es debido, en gran medida, al vertimiento directo de aguas residuales domésticas e industriales sin ningún tratamiento a lo largo de los municipios que atraviesa, incluido Bogotá D.C.

**Objetivo.** Determinar el efecto de las actividades antrópicas del municipio de Villapinzón, Colombia, sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá.

**Materiales y métodos.** Se midieron 26 variables fisicoquímicas y 4 microbiológicas en nueve estaciones de la parte alta del río Bogotá. Las variables químicas incluyeron cromo, plomo y mercurio y las microbiológicas *Escherichia Coli*, coliformes totales, *Enterococcus faecalis* y *Pseudomona aeruginosa*.

**Resultados.** En todas las estaciones las variables microbiológicas presentan valores por encima del nivel saludable. La concentración de cromo total en la zona de influencia de las curtiembres supera el nivel máximo que tiene efecto adverso sobre la salud humana.

**Conclusiones.** Se encontró un deterioro progresivo de la calidad del agua del río Bogotá, lo cual es ocasionado por las actividades antrópicas que se realizan en Villapinzón; es posible que esta sea la causa de la alta prevalencia de enfermedades infecciosas y parasitarias del sistema digestivo en niños >5 años del municipio.

**Palabras clave:** Contaminación del agua; Medio ambiente y salud pública; Cromo (DeCS).

## | Abstract |

**Introduction:** The Bogotá River is one of the most polluted rivers in the world due, to a great extent, to the direct dumping of domestic and industrial wastewater without any treatment throughout the municipalities that it crosses, including Bogotá D.C.

**Objective:** To determine the effect of anthropic activities developed in the municipality of Villapinzón, Colombia, on the physicochemical and microbiological characteristics of the Bogotá River.

**Materials and methods:** 26 physicochemical and 4 microbiological variables were measured in nine stations of the upper course of the Bogotá River. The chemical variables included chromium, lead and mercury, and the microbiological variables *Escherichia Coli*, total coliforms, *Enterococcus faecalis* and *Pseudomona aeruginosa*.

**Results:** In all stations, microbiological variables presented values above the healthy level. The concentration of total chromium in the area of influence of tanneries exceeds the maximum level allowed before causing an adverse effect on human health.

**Conclusions:** A progressive deterioration of water quality in the Bogotá River was observed, which is caused by anthropic activities carried out in Villapinzón. Probably, this situation is the cause of the high prevalence of infectious and parasitic diseases of the digestive system in children under 5 years of age.

**Keywords:** Water pollution; Environment and Public Health; Chromium (MeSH).

**Díaz-Martínez JA, Granada-Torres CA.** Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia. Rev. Fac. Med. 2018;66(1):45-52. Spanish. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.59728>.

**Díaz-Martínez JA, Granada-Torres CA.** [Effect of human activities on the physicochemical and microbiologically characteristics of the Bogota River along the municipality of Villapinzón-Cundinamarca]. Rev. Fac. Med. 2018;66(1):45-52. Spanish. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.59728>.

## Introducción

En Colombia, un alto porcentaje de la población se encuentra afectada por la contaminación del agua debido a que en muchos municipios no se realiza tratamiento alguno a las aguas residuales domésticas e industriales antes de ser vertidas a los ríos. Según la universidad de Yale, Colombia paso del puesto 8 en 2008 al puesto 85 en 2014 en desempeño ambiental, sacando el índice de desempeño ambiental más bajo en la conservación del recurso Hídrico (4.6/100) y en saneamiento básico (12.2/100) (1).

El río Bogotá es uno de los más contaminados del mundo; sus aguas con metales pesados y otros elementos tóxicos son utilizadas para el consumo humano y actividades agropecuarias (2), lo cual afecta la productividad, la calidad de los alimentos y la salud de millones de personas, más aun si se tiene en cuenta que este drena 6 000km<sup>2</sup> en su recorrido, en donde habitan alrededor de 8.04 millones de habitantes de 46 municipios, incluyendo el Distrito Capital. Este río desemboca en el río Magdalena, el cual extiende el problema a sus poblaciones riverseñas (3).

El río Bogotá nace a 3 300m de altitud en el Páramo de Guacheneque (3) y primero recorre una zona conservada de páramo y bosque alto-andino, luego pasa por pequeñas fincas de cultivo de papa y ganadería y después atraviesa el casco urbano de Villapinzón,

donde las casas y la industria de la curtiembre vierten sus aguas residuales directamente en él sin ningún tratamiento.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de las actividades antrópicas de Villapinzón sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá.

## Materiales y métodos

### Diseño de muestreo

Se seleccionaron nueve estaciones de muestreo entre el nacimiento del río Bogotá y 3km río abajo de la cabecera de Villapinzón. Las estaciones se ubicaron a lo largo del río de tal forma que la primera (E1) estuviera en una zona con poca intervención antrópica; la segunda (E2), después de los cultivos de papa, a 3km de la primera; la tercera (E3), a la entrada de Villapinzón; dos estaciones más (E4 y E5), dentro del casco urbano, a 780m y 1 230m de la entrada del municipio; la sexta (E6), a 290m de la cabecera municipal, antes de las curtiembres; la séptima (E7), en medio de los vertimientos de las curtiembres, a 2.2km de la cabecera municipal; la octava (E8), a 260m de la séptima, en el vertimiento de la curtiembre más grande del municipio, y la novena (E9), a 590m de la curtiembre (figura 1, tabla 1).



**Figura 1.** Estaciones de muestreo en la parte alta del río Bogotá. Villapinzón, Colombia.  
Fuente: Documento obtenido durante la realización.

## Análisis fisicoquímico y microbiológico

De forma manual, se tomaron muestras integradas de agua en todas las estaciones siguiendo los protocolos establecidos por el laboratorio de calidad de agua del Instituto Nacional de Salud (INS) (4) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para aguas superficiales (5). El muestreo se realizó el

domingo 11 de diciembre de 2014 con tres equipos de trabajo, cada uno compuesto por un biólogo y un auxiliar de campo. Para las estaciones ubicadas en la parte alta del río se incluyó en el equipo un conductor y un vehículo, esto debido a la distancia que existe entre las dos primeras estaciones. Las muestras se conservaron y transportaron refrigeradas con Ice Packs en neveras de icopor a 4°C y fueron entregadas a primera hora del lunes 12 de diciembre de 2014 al

laboratorio de Calidad del Agua del INS. Los análisis de cromo total fueron realizados en el Laboratorio Quimicontrol Ltda., certificado por el IDEAM. Los métodos de análisis se resumen en la tabla 2.

**Tabla 1.** Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo en el río Bogotá. Villapinzón, Colombia.

Código	Nombre	Altitud	Latitud	Longitud
Nac	Nacimiento del río Bogotá	3270	N5 13.202	W73 32.102
E1	Puente de árbol, kilómetro 4 Villapinzón-Úmbita	2895	N5 13.340	W73 34.117
E2	kilómetro 2 Villapinzón-Bucaramanga	2766	N5 14.071	W73 35.484
E3	Frente al barrio Almeida	2743	N5 13.352	W73 35.539
E4	Frente a Funerales Buitrago	2740	N5 13.061	W73 35.767
E5	Frente a subestación eléctrica	2736	N5 12.872	W73 35.955
E6	Salida cabecera Villapinzón, antes de las curtiembres	2728	N5 12.737	W73 35.937
E7	Primeras curtiembres	2704	N5 11.929	W73 36.502
E8	Frente a la curtiembre La Colombo Italiana	2708	N5 11.903	W73 36.646
E9	Después de las curtiembres, kilómetro 70 Bogotá-Villapinzón	2704	N5 11.660	W73 36.829

Fuente: Elaboración propia.

### Análisis estadístico

Los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas y microbiológicas por estación se compararon con valores críticos establecidos por la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (6); el Decreto 1594 de 1984 de la Presidencia de la República sobre usos del agua y residuos líquidos (7), y los estándares de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (8), según la norma que aplica para cada variable.

Para determinar el efecto que ejercen las actividades antrópicas sobre la calidad del recurso hídrico del río Bogotá, se empleó una prueba de análisis de componentes principales (9), la cual agrupó las variables con alto grado de asociación (10) y estableció el gradiente ambiental de las estaciones de muestreo, gradiente con el cual se determinó el impacto que tiene cada actividad sobre la calidad del recurso hídrico.

### Resultados

#### Caracterización fisicoquímica y microbiológica del recurso hídrico de la parte alta del río Bogotá

En todas las estaciones las variables microbiológicas presentan valores altos y por encima del nivel máximo de la Resolución 2115 de 2007 (6), la cual establece que estos organismos no deben estar presentes en agua para consumo humano. La concentración de cromo total en la zona de vertimiento de las curtiembres se encontró entre 0.105 mg/L y 0.7 mg/L; en estas tres estaciones los valores superan el nivel máximo que tiene efecto adverso sobre la salud humana (0.05 mg/L) según la normatividad colombiana (6,7), es decir, el cromo total tiene una concentración en el agua 2-10 veces mayor al nivel saludable. Estas estaciones también superan el nivel máximo de cromo total para agua potable establecido por la EPA (100 partes por 1 000 millones) (8). De otro lado, el mercurio y el plomo registraron valores inferiores al nivel crítico establecido por la EPA (8), el decreto 1594 de 1984 (7) y la resolución 2115 de 2007 para aguas superficiales (tabla 3) (6).

**Tabla 2.** Métodos de análisis de las variables fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río Bogotá.

Variable	Unidad de medida	Método de determinación	Nombre laboratorio
Mercurio	mg Hg/L	SM 3112B 22/2012	LCA-INS
Plomo	mg Pb/L	Absorción atómica de la ditizona	LCA-INS
Cromo total	mg Cr/L	SM 3030H-3111D, AA. Llama	Quimicontrol
Alcalinidad total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SM 2320B/técnica volumétrica	LCA-INS
Dureza de calcio	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SM 3500 Ca B/técnica volumétrica	LCA-INS-INS
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SM 2340 C/técnica volumétrica	LCA-INS-INS
Carbono orgánico total	mg C/L	SM 5310 B/combustión alta temperatura/detección infrarrojo	LCA-INS-INS
Cloruros	mg Cl/	SM 4500 Cl C/técnica volumétrica	LCA-INS-INS
Color verdadero	Unid Pt-Co	SM 2120 B/comparación visual	LCA-INS-INS
Conductividad	µS/cm	SM 2510 B 22 <sup>th</sup> edition (2012).	LCA-INS-INS
Sólidos suspendidos disueltos en laboratorio	mg SST/L	Calculadora Lenntech	LCA-INS-INS
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> /L	SM 4500 P D/ Técnica Colorimétrica (Cloruro estaños)	LCA-INS-INS
pH		B SM 4500 H+22 <sup>th</sup> edition (2012).	LCA-INS-INS
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	SM 4500 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E/técnica turbidimétrica	LCA-INS-INS
Turbiedad	U.N.T	SM 2130 B/técnica turbidimétrica.	LCA-INS-INS
pH en campo	Unidades pH	Potenciómetro HACH HQd FIELD CASE	LCA-INS-INS
Conductividad en campo	µS/cm	Potenciómetro HACH HQd FIELD CASE	LCA-INS-INS
Sólidos disueltos totales en campo	mg SDT/L	Calculadora LENNTECH	LCA-INS-INS
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	Potenciómetro HACH HQd field case	LCA-INS-INS
Saturación de oxígeno	Porcentaje	Potenciómetro HACH HQd field case	LCA-INS-INS
Temperatura	°C	Potenciómetro HACH HQd field case	LCA-INS-INS
Velocidad	m/s	Micro veleta Global Water modelo FP101	UDFJDC
Profundidad máxima	m	Micro veleta Global Water modelo FP101	UDFJDC
Profundidad media	m	Micro veleta Global Water modelo FP101	UDFJDC
Ancho	m	Decámetro	UDFJDC
Caudal medio	L/s	Calculadora	UDFJDC
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	SM 9223B/sustrato enzimático	LCA-INS
Coliformes Totales	NMP/100ml	SM 9223B/sustrato enzimático	LCA-INS
<i>Enterococcus faecalis</i>	NMP/100ml	SM 9223B/sustrato enzimático	LCA-INS
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	NMP/100ml	SM 9213F/sustrato enzimático	LCA-INS

SDT: sólidos disueltos totales; LCA-INS: Laboratorio de Calidad del Agua del Instituto Nacional de Salud; UDFJDC: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Concentración de las variables fisicoquímicas y microbiológicas en la parte alta del río Bogotá. Villapinzón, Colombia.

Variable/Estación	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Mercurio mg/L	<0.000024	<0.000024	0.0001	0.0001	0.0001	<0.000024	<0.000024	0.0001	<0.000024
Plomo mg/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cromo total mg/L	<0.0108	<0.0108	<0.0108	<0.0108	<0.0108	<0.0108	0.120	0.105	0.700
Alcalinidad total mg/L	3	4	5	0	2	12	19	18	19
Dureza de calcio mg/L	4	5	9	9	11	8	9	9	9
Dureza total mg/L	6	8	13	13	17	14	14	14	15
Carbono orgánico total mg/L	5.04	5.7	8.87	84.3	31.46	21.09	13.3	32.06	15.28
Cloruros mg/L	1	3	8	10	15	9	10	11	11
Color verdadero Unid Pt-Co	15.8	41.9	58.8	188.8	183.5	128.8	50.4	87.3	47.3
Conductividad en laboratorio $\mu\text{S/cm}$	18	24	51	97	103	73	97	99	94
Sólidos disueltos totales en laboratorio mg/L	11.5	15.4	32.6	62.1	65.9	46.7	62.1	63.3	60.1
Ortofosfatos mg/L	0.17	0.14	0.15	0.13	0.67	0.39	0.60	0.57	0.51
pH en laboratorio	5.86	6.31	6.38	5.31	5.45	6.16	6.64	6.87	6.88
Sulfatos mg/L	1	1	2	5	3	3	4	4	4
Turbiedad U.N.T	0.69	2.11	3.57	7.44	8.36	8.09	2.57	3.77	2.1
pH en campo	3.77	3.78	3.83	3.9	3.83	3.81	3.9	3.84	3.9
Conductividad en campo $\mu\text{S/cm}$	189	188.7	188.4	184.1	188.8	191.2	185.7	187.5	185.2
Sólidos disueltos totales en campo mg/L	121	120.8	120.6	117.9	120.9	122.4	118.9	120	118.6
Oxígeno disuelto mg/L	7.81	7.73	7.33	3.58	1.77	1.39	0.77	0.94	1.07
Saturación de oxígeno (%)	105.3	105.7	108	54.5	27.1	21.9	12.3	14.3	16.7
Temperatura °C	14.55	15.4	19.1	19.7	20.45	21.5	22.25	19.75	21.05
Velocidad m/s	0.46	0.38	0.33	0.2	0.15	0.15	0.22	0.51	0.34
Profundidad máxima (m)	0.80	0.28	0.25	0.20	0.22	0.22	0.18	0.25	0.30
Profundidad media (m)	0.4	0.14	0.13	0.1	0.11	0.11	0.09	0.13	0.15
Ancho (m)	7.5	5.5	4	4	3	2.5	6	6	12
Caudal medio L/s	1228	260	153	71	44	37	106	354	545
<i>Escherichia coli</i> UFC	23.5	1119.9	2419.3	2419.3	2419.3	410.6	>2419.2	>2419.2	533.5
Coliformes Totales UFC	23.5	1119.9	>2419.3	>2419.3	>2419.3	410.6	>2419.3	>2419.3	533.5
<i>Enterococcus faecalis</i> UFC	>2419.3	>2419.3	>2419.3	>2419.3	>2419.3	1732.9	>2419.3	>2419.3	>2419.3
<i>Pseudomona aeruginosa</i> UFC	>2419.3	>2419.3	>2419.3	>2419.3	>2419.3	1732.9	>2419.3	>2419.3	>2419.3

UFC: unidad formadora de colonias.

Fuente: Elaboración propia.

La alcalinidad, la dureza de carbonatos, la dureza total, los cloruros, la conductividad, los sólidos disueltos totales (SDT) y los sulfatos presentaron valores menores al límite establecido por la EPA (3) y la normatividad nacional para aguas superficiales y de consumo humano en todas las estaciones (6,7). Contrario a esto, el carbono total, el color verdadero y la turbiedad rebasaron los límites máximos permitidos por la Resolución 2115 de 2007 en el tramo del río comprendido entre las estaciones E2 y E9 y alcanzaron su valor

máximo en las estaciones ubicadas en el casco urbano del municipio (E4 y E5) y en la estación localizada antes de las curtiembres (E6). De otro lado, los ortofosfatos superaron la norma tan solo en las estaciones con influencia de los vertimientos de las curtiembres (E7, E8 y E9) y en la estación del casco urbano cercana a la salida de Villapinzón (E5) (tabla 3).

En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto (OD), el decreto 1594 de 1984 (7) solo establece valores restrictivos para el uso del

recurso en la preservación de fauna y flora para aguas dulces frías o cálidas y aguas marinas o estuarinas; en este caso el valor restrictivo correspondiente al agua dulce fría es de 5 mg/L, valor que solo cumplen las tres estaciones ubicadas antes del vertimiento de las aguas residuales domésticas (OD >7 mg/L). En el corto recorrido que hace el río al atravesar el casco urbano de Villapinzón (1.23Km), los niveles de OD descienden drásticamente a 3.6 mg/L en la estación E4 y a 1.8 mg/L en la estación E5, para luego tomar valores cercanos a 1 mg/L en la zona de vertimiento de las curtiembres (tabla 3).

El Decreto 1594 de 1984 también establece como criterio para el uso del recurso hídrico con fines recreativos una saturación mínima de oxígeno del 70% (7), valor que solo cumplen las tres primeras estaciones (105% a 108%), pero en realidad este parámetro no es muy relevante, pues la temperatura y la baja profundidad del río no favorecen el desarrollo de estas actividades (tabla 3); además, la abundancia de peces es muy baja y la pesca en la parte alta del río no está permitida (11).

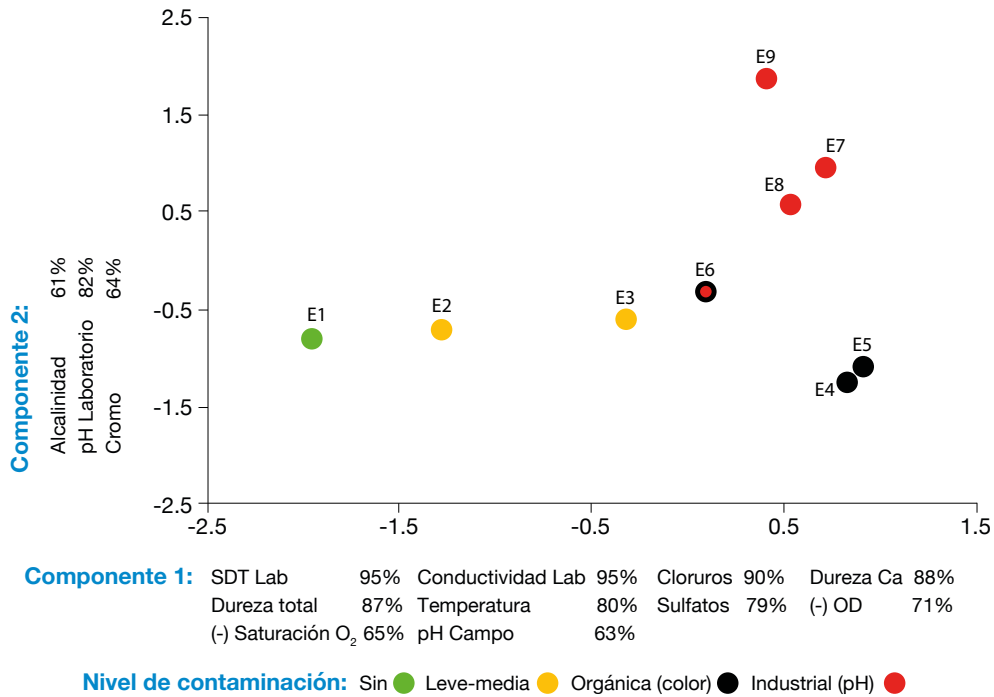
Es muy importante resaltar las diferencias encontradas entre el pH tomado en campo con el potenciómetro HACH HQd Field Case debidamente calibrado y el pH de las muestras reportado por el laboratorio, pues en campo todas las estaciones presentaron valores por debajo de 4 unidades, no aptos para consumo humano y pecuario (7), mientras que los valores determinados en el laboratorio de calidad del agua del INS solo estuvieron por debajo de la norma en la primera

estación (E1) y en las dos estaciones que reciben gran parte de los vertimientos de las aguas residuales domésticas de Villapinzón (E4 y E5) (tabla 3).

También se presentaron diferencias importantes entre la conductividad de campo y laboratorio, aunque en este caso todos los registros presentaron valores inferiores a los establecidos para el consumo humano en Colombia (1.000 µS/Cm2) y por ende para los valores establecidos para los SDT (500 mg/L) (6,7).

### Efecto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua en la parte alta del río Bogotá

El análisis de componentes principales realizado para las variables fisicoquímicas y microbiológicas muestra con claridad el proceso de degradación del recurso hídrico del río Bogotá por efecto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas e industriales. En la parte izquierda de la figura 2, en color verde, se localizan las estaciones que se encuentran antes del casco urbano, las cuales no presentan contaminación importante; la primera estación supera ligeramente el valor de restricción del color verdadero (15,8 Unid Pt-Co), en tanto que las estaciones E2 y E3 superan ligeramente la turbiedad para el uso de consumo humano y el carbono total para el criterio de implicaciones en la salud humana y en forma amplia el valor del color verdadero (2).



**Figura 2.** Distribución espacial de las estaciones en el gradiente de contaminación de los componentes 1 y 2. Villapinzón, Colombia. Fuente: Elaboración propia.

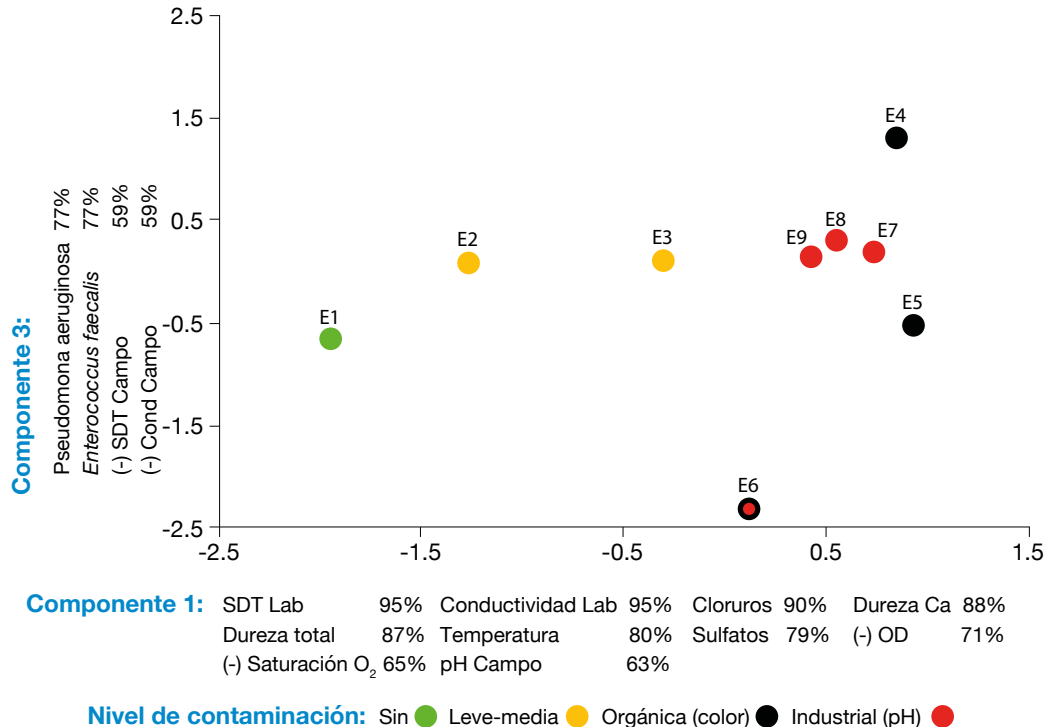
La E6, distanciada 290m de la E5 y en donde el río sale de la zona urbana de Villapinzón, ocupa una posición intermedia entre las estaciones con contaminación por aguas residuales domésticas y las estaciones con contaminación industrial. Esta estación tiene un grado importante de contaminación y comparte algunas de características con las estaciones afectadas por el vertimiento de aguas residuales domésticas, como son los altos niveles de carbono total y turbiedad, pero también presenta semejanzas con las estaciones ubicadas en

la zona de las curtiembres en los valores altos de alcalinidad y pH en laboratorio.

A partir de la ubicación en la figura 2 de la estación E6, hacia la derecha se encuentran las estaciones con mayor degradación del recurso hídrico; baja concentración de OD y saturación de oxígeno, y valores altos de las demás variables fisicoquímicas asociadas al componente 1. Además, se aprecia el desplazamiento de las estaciones localizadas en la zona de influencia de las curtiembres

hacia la parte superior del componente 2, desplazamiento ocasionado por la alteración del río con vertimientos de cromo e incremento del pH y la alcalinidad. En la parte inferior derecha de la gráfica están las estaciones del casco urbano que presentan los valores más bajos de pH en laboratorio y alcalinidad y el más alto de color verdadero, producto del alto contenido de materia orgánica del vertimiento de las aguas residuales domésticas.

Para el componente 3 la mayoría de estaciones se localizan en la parte central de gradiente ambiental de las cuatro variables que lo conforman, las únicas estaciones que se separan son, por un lado, la E6, que presentó valores inferiores de NMP/100mL de *Enterococcus faecalis* y *Pseudomona aeruginosa*, los cuales están asociados a los niveles bajos de conductiva y SDT de campo y, por el otro, la E4, que presentó los valores más altos de SDT y conductividad en campo (figura 3).



**Figura 3.** Distribución espacial de las estaciones en el gradiente de contaminación del componente 3. Villapinzón, Colombia. Fuente: Elaboración propia.

## Discusión

Es preocupante la presencia de *E. coli* en todas las estaciones de la parte alta del río con valores muy por encima del nivel saludable, ya que el agua del río es utilizada para el riego de los cultivos de papa y hortalizas después de atravesar el casco urbano del municipio (2). Esta preocupación surge porque la segunda causa de la enfermedad diarreica aguda (EDA) en niños menores de 5 años en Villapinzón es la infección bacteriana, dentro de la cual la *E. coli* es la bacteria más importante (12); además, según la OMS cada año mueren cerca de 1.87 millones de niños por causas asociadas a la enfermedad diarreica y cerca del 88% de estas muertes están asociadas con el abastecimiento de agua insalubre y el saneamiento e higiene deficientes (13).

En Colombia, la EDA ocupa el segundo lugar de morbilidad en la población menor de 5 años. Para el 2012 se presentaron 109 muertes por esta enfermedad (14) y para el 2015 125 por la misma causa (15). De otro lado, también en el año 2012 se registraron 2 550 894 casos de EDA en el país, la mayor incidencia se presentó en menores de 1 año (240.57 por cada 1 000 habitantes) y en segundo lugar estuvo el grupo de 1 a 4 años (147.68 por cada 1 000 habitantes) (15). Es importante resaltar que existe un subregistro muy grande en el país, lo cual se confirma porque en la base de datos del Sivigila de 2012 no aparece registrado ni un solo caso de los 558 correspondientes a enfermedades infecciosas y parasitarias presentados en Villapinzón, de los cuales 280 corresponden a menores de 5 años (16).

La *P. aeruginosa* es una bacteria que no se considera autóctona del agua; esta puede derivar de heces humanas y animales, su detección en agua se asocia con polución por descarga de aguas residuales y, por lo tanto, hay una estrecha correlación entre su presencia en ambientes acuáticos y la presencia de fenómenos de contaminación (17). Este microorganismo crece en muy baja concentración de nutrientes en medio ambiente acuoso y puede sobrevivir durante muchos meses en aguas a temperatura ambiente, es un importante patógeno oportunista y es causa de un amplio rango de infecciones, en especial de oídos, ojos y piel; su control en aguas destinadas a la recreación es una obligación en varios países del mundo (18).

En la actualidad, en Villapinzón existen 95 curtiembres registradas, de las cuales solo dos tienen licencia ambiental. Esta industria es la única responsable de la contaminación con cromo del río Bogotá en el municipio. A pesar del cierre de varios de estos establecimientos por parte de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), de la captura de varios trabajadores y dueños de algunas curtiembres en el año 2012 y de la sentencia del Consejo de Estado en 2014 (19) que ordena que antes de 2017 la ronda del río debe estar libre de curtiembres, hoy en día las curtiembres trabajan en las noches y el fin de semana, ya que estas industrias generan cerca de 4 000 empleos entre directos e indirectos a los habitantes de Villapinzón, es decir que emplea casi al 25% de la población del municipio (20).

El cromo es un nutriente esencial para los humanos y la falta de este puede causar afecciones del corazón, trastornos metabólicos y diabetes; sin embargo, su exceso, ya sea en el aire, los alimentos,

el agua, o por contacto con la piel, ocasiona erupciones cutáneas, malestar de estómago, úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético y cáncer de pulmón (8).

Un estudio realizado por Jaimés-Gómez & Hernández-Guerrero (21) en el cual se manejaron dos grupos de trabajadores de la curtiembre más grande de Villapinzón (Colombo-Italiana) —el primero de trabajadores expuestos que manipulan de forma directa y a diario el cromo y el segundo de trabajadores que no tenían exposición directa a dicho químico— mostró que el 43.7% de quienes estaban en contacto directo presentaban niveles de cromo >30 mg/L, frente a un 6.25% de los que no trabajan de forma directa con la sustancia. Asimismo, los trabajadores expuestos directamente presentaron prevalencias mayores de las patologías oculares evaluadas frente a los trabajadores no expuestos, en las que se destacan la alteración de película lagrimal (100% vs. 33%), Pingüecula (80% vs. 20%), pterigios (60% vs. 14.2%) y conjuntivitis alérgica (70% vs. 0%) (21).

Aunque no existen estudios sobre afecciones causadas por el cromo a la población que vive cerca a las curtiembres en Villapinzón y en la ribera del río Bogotá, un trabajo realizado por Cubero *et al.* (22) en la población aledaña a las curtiembres y que habitan la ribera del río Tunjuelito evidencia que no solo las personas que están expuestas laboralmente pueden presentar complicaciones en la salud por efectos del cromo, ya que en el barrio San Benito de Bogotá D.C., en donde se encuentra el mayor número de curtiembres del país (4.4%), las personas que habitan en las viviendas vecinas y que no tienen por su ocupación contacto directo con el cromo presentan niveles en orina >20 mg/L frente al 3.2% de los trabajadores expuestos de las curtiembres, lo que les permite concluir que existe una asociación entre detección de cromo en la orina y residir en la zona de las curtiembres (22).

Esta situación puede ser aún más grave en Villapinzón si se tiene en cuenta que las aguas del río Bogotá contaminadas con cromo se utilizan para el riego de cultivos (2) y que en épocas de lluvia el desbordamiento del río ocasiona inundaciones que contaminan los suelos y otras fuentes de agua; además, los residuos de las curtiembres con altas cargas de sulfuro de sodio y cromo son diseminados como abono en potreros y zonas de cultivos de papa en los municipios de Villapinzón y Chocontá (23).

Los valores de pH bajos presentes en las primeras estaciones no deben ser tomados como un indicador de contaminación, pues a la altitud que se encuentran estas estaciones el agua superficial siempre presenta pH bajo debido a la formación de ácidos húmicos en el suelo, los cuales son producto de la descomposición lenta de la materia orgánica a bajas temperaturas.

La superación de los niveles críticos de carbono total, color verdadero, turbiedad y oxígeno disuelto en todas las estaciones con influencia de actividades antrópicas y de los ortofosfatos en la zona de curtiembres son indicadores de la fuerte contaminación con materia orgánica de origen doméstico e industrial. Esta contaminación causa deterioro en la calidad del agua, desaparición de especies, cambio en la composición y estructura de las comunidades acuáticas, proliferación de organismos patógenos, malos olores y zancudos. En el caso de Villapinzón el zancudo que se cría en aguas contaminadas con materia orgánica es el *Culex quinquefasciatus*, que aunque no transmite enfermedades en Colombia, sí causa molestias sanitarias (24).

El deterioro del río Bogotá a unos pocos kilómetros de su nacimiento no es más que el reflejo de la situación del recurso hídrico y la salud ambiental en Colombia; El INS, en su informe Estado de la vigilancia de la calidad de agua para consumo humano en Colombia 2007-2011, reveló que el 41.1% de la población en el área rural tiene cobertura de acueducto y el 51% de alcantarillado y que tan solo 250 municipios de

los 1 022 que hay en el país tienen agua potable de buena calidad (25). El índice de riesgo de la calidad del agua para el consumo humano de Villapinzón registrado en este informe fue de 11, es decir, agua no apta para consumo humano susceptible de mejorar (25).

El estado del río Bogotá a la altura de Villapinzón viola los derechos de los habitantes del municipio, ya que la Constitución Política de Colombia (26) establece, en su artículo 8, que “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la nación”; en su artículo 49, que “La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado [...]”, y, en su artículo 79, que “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo”.

## Conclusiones

En Todas las estaciones el número de NMP/100ml *E. coli*, Coliformes totales, *E. faecalis* y *P. aeruginosa* está por encima del valor crítico para el agua de consumo humano establecido por la Resolución 2115 de 2007 (6).

Solo la estación E1, situada a 4.09km del nacimiento del río Bogotá no presentó niveles de contaminación importantes de las variables fisicoquímicas.

La concentración de cromo total encontrada en la zona de influencia de vertimiento de las curtiembres presenta valores 2-10 veces por encima de la concentración que tiene efecto adverso sobre la salud humana y los niveles de ortofosfatos rebasan el límite saludable para el hombre (0.5 mg/L).

En todas las estaciones los niveles de plomo y mercurio estuvieron por debajo de los niveles máximos establecidos por la normatividad colombiana y la EPA.

El tramo del río Bogotá con influencia de las actividades antrópicas presentó niveles de contaminación orgánica por encima de los valores críticos para las variables carbono total, color verdadero, turbiedad, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno.

Solo las tres estaciones que no son afectadas por el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales presentan niveles de oxígeno disuelto y saturación de oxígeno superiores al límite restrictivo para el uso del recurso en la preservación de fauna y flora.

En río Bogotá, en los primeros 13km de su recorrido a través del municipio de Villapinzón, presenta un alto grado de deterioro ocasionado en su mayoría por el vertimiento sin tratamiento de las aguas residuales domésticas del municipio y la industria de las curtiembres; este deterioro se ve reflejado en los niveles no aptos para la salud y el uso del agua para consumo humano de todas las variables microbiológicas y de 16 de las variables fisicoquímicas evaluadas.

## Conflicto de intereses

Ninguno declarado por los autores.

## Financiación

Esta investigación contó con el apoyo financiero del Laboratorio de Calidad del Agua del Instituto Nacional de Salud de Colombia.

## Agradecimientos

Al Laboratorio de Calidad del Agua del Instituto Nacional de Salud de Colombia por la realización de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos y el préstamo del potenciómetro HACH HQd FIELD CASE.

## Referencias

1. Yale University. Global Metrics for the Environment. New Haven: Environmental Performance Index; 2014 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/u161bs>.
2. **Miranda D, Carranza C, Rojas CA, Jerez CM, Fischer G, Zurita J.** Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá Ciencias Hortícolas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 2008;2(2):180-191. <http://doi.org/cgmw>.
3. Colombia. Ministerio de ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Estrategia Para el Manejo Ambiental del Río Bogotá. Bogotá DC: COMPES No. 3320; 2004 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/iZiGJp>.
4. Colombia. Instituto Nacional de Salud. Manual de Instrucciones para la toma, preservación y transporte de agua de consumo humano para el análisis de laboratorio. Bogotá D.C.: INS; 2007 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/uMKqAf>.
5. Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM. Bogotá D.C.: IDEAM; 2010 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/FcaCRg>.
6. Colombia. Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 de 2007 (junio 22): 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. Bogotá D.C.: Diario Oficial 46679; julio 4 de 2004 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/JQKMej>.
7. Colombia. Presidencia de la República. Decreto 1594 de 1984 (junio 26): Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá D.C.: Diario oficial 36700; junio 26 de 1984 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/enYfN5>.
8. United States Environmental Protection Agency. Table of Regulated Drinking Water Contaminants. Washington D.C.: EPA; 2010 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/pQeSxs>.
9. **Flury B, Riedwyl H.** Multivariate Statistics. New York: Chapman and Hall; 1987.
10. **Draper NR, Smith H.** Applied regression analysis. New York: John Wiley & Sons editors; 1966.
11. Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 138 de 2014 (enero 31): Por la cual se realindera la Reserva Frestal Prtectora Prductora de la Cuenca alta del Río Bogotá y se toman otras determinaciones. Bogotá D.C.; diciembre 31 de 2014. Available from: <https://goo.gl/TXaU2P>.
12. **O’Ryan M, Prado V, Pickering LK.** millennium update on pediatric diarrheal illness in the developing world. *Semin Pediatr Infect Dis*. 2005;16(2):125-36. <http://doi.org/fmiphxs>.
13. **Boschi-Pinto C, Velebit L, Shibuya K.** Estimating child mortality due to diarrhoea in developing countries. *Bull World Health Organ*. 2008;86(9):710-717. <http://doi.org/fr684z>.
14. Colombia Instituto Nacional de Salud. Informe del Evento Mortalidad por enfermedad diarreica aguda en menores de cinco años, y mortalidad en todos los grupos de edad, año 2012. Bogotá, D.C.: INS; 2012. Available from: <https://goo.gl/N1kuGj>.
15. Colombia. Instituto Nacional de Salud. Vigilancia Rutinaria. Bogotá D.C.: INS; 2012. Available from: <https://goo.gl/kJt7i5>.
16. Colombia. Dirección de Desarrollo Social. Análisis de la Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud. Villapinzón: Departamento Nacional de Planeación; 2013.
17. **Moore JE, Heaney N, Millar BC, Crowe M, Elborn JS.** Incidence of *Pseudomonas aeruginosa* in recreational and hydrotherapy pools. *Commun Dis Public Health*. 2002 [cited 2017 Nov 24];5(1):23-6. Available from: <https://goo.gl/hGjkZo>.
18. **Arcos-Pulido MP, Gómez-Prieto AC.** Microalgas perifíticas como indicadores del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Nova*. 2006 [cited 2018 Mar 5];4(6):60-79. Available from: <https://goo.gl/MUNFSX>.
19. Colombia. Consejo de Estado. Sala de lo Contencioso Administrativo Sección Primera. Sentencia AP-25000-23-27-000-2001-90479-01. M.P. Marco Antonio Velilla Moreno; marzo 28 de 2014 [cited 2017 Nov 24]; Available from: <https://goo.gl/w71gcK>.
20. **Bautista RJ.** Las curtiembres del corredor Villapinzón-Chocontá y el Río Bogotá. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y reflexión*. 2004 [cited 2017 Nov 24];12(2):36-45. Available from: <https://goo.gl/aoNPXo>.
21. **Jaimés-Gómez AF, Hernández-Guerrero C.** Alteraciones visuales/ oculares y niveles de cromo en sangre de los trabajadores de la curtiembre Colombo-Italiana de Villa Pinzón (Cundinamarca) [tesis]. Bogotá, Facultad de Ciencias de la Visión, Universidad de la Salle; 2009 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/hXiNZe>.
22. **Cuberos E, Rodríguez AI, Prieto E.** Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia. *Rev. salud pública*. 2009;11(2):278-89.
23. Colombia. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá. Bogotá D.C.: CAR; 2006 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/uZpmdp>.
24. **Olano VA, Tinker ME.** Fauna de mosquitos asociados con *Aedes aegypti* en Guaduas, Colombia, S.A. *Biomedica*. 1993;13(2):71-4.
25. Colombia. Instituto Nacional de Salud. Estado de la vigilancia de la calidad de agua para consumo humano en Colombia 2007-2011. Bogotá D.C.: INS; 2012 [cited 2017 Nov 24]. Available from: <https://goo.gl/7X3iVK>.
26. Colombia. Asamblea Nacional Constituyente. Constitución Política de Colombia de 1991. Bogotá, D.C.: Gaceta Constitucional 116; julio 20 de 1991.