



Evaluación cuantitativa de riesgos microbiológicos asociado con el consumo de agua del río Chicamocha en Boavita- Boyacá

Quantitative microbiological risks assessment associated with the consumption of water of Chicamocha river in Boavita-Boyacá

John Delgado Vargas¹; Luz Marina Lizarazo^{2*}; Margoth Valdivieso³; Diego García⁴

¹Biólogo, Grupo de Investigación Biología Ambiental. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Avenida Central del Norte No. 39-115, Tunja, Boyacá, Colombia, e-mail: jhonjames1115@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1495-2267>

²Ph.D., Docente asociada, Coordinadora Grupo de Investigación Biología Ambiental. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Avenida Central del Norte No. 39-115, Tunja, Boyacá, Colombia, e-mail: luz.lizarazo@uptc.edu.co, <http://orcid.org/0000-0002-7849-7876>

³M.Sc., Estadística, Docente asistente, Grupo Interdisciplinario en Ciencias GICI. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Avenida Central del Norte No. 39-115, Tunja, Boyacá, Colombia, e-mail: margoth.valdivieso@uptc.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-3617-928X>

⁴M.Sc., Veterinaria Zootecnista, Docente asistente, Grupo GIDIMEVETZ. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Avenida Central del Norte No. 39-115. Tunja, Boyacá, Colombia, e-mail: diegojose.garcia@uptc.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-1495-2267>

*autor de correspondencia: bio.ambient@uptc.edu.co

Cómo citar: Delgado Vargas, J.; Lizarazo, L.M.; Valdivieso, M.; García, D. 2019. Evaluación cuantitativa de riesgos microbiológicos asociado con el consumo de agua del Río Chicamocha en Boavita- Boyacá. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 22(1):e1187. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1187>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Recibido: Febrero 19 de 2018

Aceptado: Marzo 15 de 2019

RESUMEN

Los habitantes del sector El Terrenal, del municipio de Boavita-Boyacá, al no contar con el servicio de acueducto, utilizan las aguas del río Chicamocha, para la preparación de sus alimentos, limpieza y aseo personal. El objetivo de este estudio fue evaluar bacterias y protozoos presentes en el cuerpo de agua del río Chicamocha, a través de un análisis cuantitativo de riesgo microbiológico (ACRM). Para el desarrollo del trabajo, se realizaron cuatro muestreos, de abril a junio de 2016, en los márgenes y centro del río y un quinto muestreo de agua tratada con la planta *Opuntia ficus-indica* (Tuno). Se realizó el método de recuento en placa, usándose medios selectivos

y diferenciales para el aislamiento de *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Enterococcus* y la técnica de MacMaster, para la determinación de parásitos gastrointestinales (PGI). Para el análisis de la información, se emplearon los estadísticos no paramétricos de Kruskal-Wallis y U-Mann Whitney. Se determinó que, al menos, un lugar de muestreo es estadísticamente diferente a otro para *Enterococcus faecium* (P= 0,000) y los ooquistes de *Entamoeba histolytica* (P= 0,000). Por el contrario, para *Escherichia coli* no se observaron diferencias significativas entre las zonas, pero sí al menos una fecha de muestreo fue estadísticamente diferente (P= 0,026) a otra. En el agua tratada, se observó una disminución de los ooquistes de *E. histolytica* y un aumento en el porcentaje de *E. faecium* (P= 0,035).

Palabras clave: consumo agua contaminada; *Escherichia coli*; *Salmonella typhi*; *Enterococcus faecium*; *Entamoeba histolytica*.

ABSTRACT

The inhabitants of the El Terrenal sector of the municipality of Boavita-Boyacá, have no access to the aqueduct service, and use water of the Chicamocha River for preparation of food, housework and personal hygiene. The aim of this study was to evaluate the presence of pathogenic bacteria and protozoa, present in the water body of the Chicamocha River, through a quantitative analysis of microbiological risk (ACRM). For the development of the work, four samples were conducted from April to June 2016, in the margins and center of the river, and a fifth sample of water treated with the plant *Opuntia ficus-indica* (Tuno). The method of plate count was performed, using selective and differential media for the isolation of *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Enterococcus* and the MacMaster technique for the determination of gastrointestinal parasites (PGI). For the analysis of the information the nonparametric statistics of Kruskal Wallis and U-Mann Whitney were used. It was determined that at least one sampling site is statistically different from another for *Enterococcus faecium* ($P = 0.000$) and the oocysts of *Entamoeba histolytica* ($P = 0.000$). In contrast, for *Escherichia coli* no significant differences were observed between the zones, but if at least one sampling date was statistically different ($P = 0.026$) to another. In the treated water there was a decrease in the oocysts of *E. histolytica* and an increase in the percentage of *E. faecium* ($P = 0,035$).

Keywords: contaminated water consumption; *Escherichia coli*; *Salmonella typhi*; *Enterococcus faecium*; *Entamoeba histolytica*. CAB thesaurus.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades de transmisión alimentaria (ETA) son definidas por la Organización Mundial de la Salud, como “el conjunto de síntomas originados por la ingestión de agua o alimentos que contengan agentes biológicos –bacterias o parásitos– o no biológicos –plaguicidas o metales pesados–, en cantidades tales, que afecten a la salud del consumidor en forma aguda o crónica, a nivel individual o de grupo de personas”.

Estas enfermedades, se caracterizan por una variedad de síntomas gastrointestinales, siendo los agentes etiológicos con mayor prevalencia de ETA diarreicas la *Salmonella enterica* no tifoidea, *Escherichia coli* enteropatógena, *Salmonella typhi* y *Taenia solium*.

El departamento de Boyacá cuenta con 123 municipios, de los cuales, 119 consumen agua no apta para consumo humano, estando en niveles de riesgo para la salud entre bajo, medio y alto, de acuerdo con la resolución No. 2115 del Ministerio de la Protección Social-MPS y del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT (2007), lo que indica que no cumplen con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Para el 2008, el departamento de Boyacá reportó 556 casos de ETA, observándose un aumento en comparación

con los años anteriores, dejándolo, a nivel nacional, como el cuarto departamento que más casos notificó (Gobernación de Boyacá, 2011).

El municipio de Boavita cuenta con servicio de acueducto y alcantarillado, con una cobertura del 90,7%; sin embargo, el sector El Terrenal, de la vereda Lagunillas, no cuenta con servicio de acueducto ni alcantarillado, lo que obliga a sus habitantes a cubrir sus necesidades con el agua del río Chicamocha, aumentando el riesgo de exposición a ETA.

En investigaciones realizadas en la calidad del agua de la cuenca alta en el río Chicamocha, encontraron coliformes totales, indicando contaminación fecal en el cuerpo de agua y recomendaron revisar los riesgos sanitarios y enfermedades, por el uso de estas aguas (CORPOBOYACÁ, 1999).

Adicionalmente, CORPOBOYACÁ (2006) informó valores superiores de Coliformes totales y fecales a los aceptados en los decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010. Además, la presencia de actividad ganadera en las riberas del río afecta la calidad del agua de la cuenca, porque altera, principalmente, los parámetros microbiológicos, generando contaminación por coliformes totales, *Enterococcus intestinales*, *Giardia* sp., entre otros parásitos.

La evaluación cuantitativa de riesgos microbiológico (ECRM) es una herramienta de tipo estadístico utilizada para la detección y la evaluación de los peligros que puedan estar presentes en los alimentos o agua, la probabilidad de exposición a estos y su impacto sobre la salud pública de la comunidad expuesta (Haas *et al.* 1999).

Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue evaluar, mediante una ECRM, el agua del río Chicamocha que utiliza la población del sector el Terrenal, del municipio de Boavita.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La investigación fue desarrollada en la vereda Lagunilla, en el sector El Terrenal, perteneciente al municipio de Boavita- Boyacá, Colombia. El municipio cuenta con una extensión total de 159km² y una altitud de 2114m s.n.m. Su temperatura media está entre 16 y 24°C. La economía del municipio gira alrededor de la agricultura, ganadería y la cestería. El sistema hídrico del municipio pertenece en un 97% a la cuenca del río Chicamocha.

Muestreo. Se realizaron cuatro muestreos hacia los dos bordes y centro del río, en recipientes estériles de vidrio de boca ancha, cada 20 días, en abril, mayo y junio, con promedios de precipitaciones de 192, 173 y 77,9mm, respectivamente. El quinto punto de muestreo, se ejecutó en un tanque de almacenamiento, donde la comunidad deposita el agua que filtran, haciendo uso de la planta *Opuntia ficus-indica*, comúnmente, llamada tuno.

Para *E. coli*, *Salmonella* y *Enterococcus*, se tomaron muestras de 250mL y para parásitos gastrointestinales (PGI), de 1.000mL (APHA *et al.* 2012). Se mantuvieron a temperaturas entre 6 y 10°C y se realizó el análisis dentro de las 12 horas siguientes.

Encuesta. Una vez validada la encuesta por un experto (M.Sc. Estadística Margoth Valdívieso), se procedió a aplicar la encuesta transversal a las familias habitantes del Terrenal, quienes usaban el agua del río Chicamocha para sus actividades diarias: aseo personal, consumo, limpieza, labores agrícolas, entre otras actividades. Todos los participantes fueron informados del estudio a realizarse y firmaron el consentimiento informado.

Análisis microbiológico. Para el aislamiento y la cuantificación de las bacterias, se realizó el método de recuento en placa, sembrándose por duplicado en los medios selectivos MacConkey (Merck®), para aislar *Escherichia coli*; agar selectivo Hektoen Entérico (Merck®), para *Salmonella* y agar Bilis Esculina Azida (Merck®), para *Enterococcus*. Se incubaron de 48 a 72 horas, a una temperatura entre 35-37°C, para la cuantificación de unidades formadoras de colonias.

Después de la incubación, las colonias características para Enterobacterias en los medios MacConkey y Hektoen Entérico, se aislaron en cajas de Petri, con agar Chromocult (Merck®), que se incubaron durante 48 horas, a 35°C.

Para la caracterización de género y especie, se utilizaron pruebas bioquímicas tradicionales.

Análisis parasitológico. Para el análisis cuantitativo, se utilizó la técnica de MacMaster, modificada para muestras de agua (Sixtos, 2011). El número de huevos u ooquistes por mililitro, se halló con la siguiente fórmula:

$$\text{Quiste / ml} = \frac{\text{Recuento Total} \times 100}{\text{No. de Cámaras}}$$

Para el análisis cualitativo, se realizó la técnica formol-éter, descrita por Ritchie *et al.* (1960).

ECRM. Se siguieron los cuatro pasos necesarios para ello: identificación de peligros, evaluación de la exposición, el análisis de dosis-respuesta y la caracterización del riesgo. El riesgo, se estimó mediante el uso de ecuaciones dosis-respuesta, utilizándose el modelo Poisson-Beta y exponencial para las bacterias y los parásitos, respectivamente (Haas *et al.* 1999; Westrell *et al.* 2004).

$$P_{inf} : 1 - \left[1 + \frac{D}{N_{50}} \left(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right) \right]^{-\alpha}$$

(Modelo de Poisson-Beta)

$$P_{inf} = 1 - \exp\left(-\frac{D}{k}\right)$$

(Modelo exponencial)

Dónde, P_{inf} es la probabilidad de infección; D es la dosis microbiológica que se ingiere; N_{50} es la dosis = 7.336; Yapo *et al.* (2014), que representa la infección del 50% de la población y; α y k son constantes

Las constantes utilizadas para las bacterias y para *E. histolytica* fueron:

E. coli: $\alpha = 0,49$ y $N_{50} = 5,9 \times 10^5$; *Salmonella* y *Enterococcus*: $\alpha = 0,312$ y $N_{50} = 236$ (Haas *et al.* 1999) y *E. histolytica*: $k = 50,23$ (Rendtorff, 1954).

Caracterización del riesgo anual. La probabilidad anual de infección está relacionada con la exposición múltiple de una persona (Sakaji & Funamizu, 1998) y se calculó con la siguiente fórmula:

$$P = 1 - (1 - P_{inf})^n$$

Donde, P es la probabilidad anual de infección; P_{inf} es la probabilidad de infección para una sola exposición y n es la frecuencia de exposición, número de días durante un año, el cual, una persona está expuesta a una dosis de agentes de patógenos.

Para comparar los recuentos de las bacterias en los meses y puntos de muestreo, se realizaron análisis estadísticos no paramétricos (Kruskal Wallis, U de Mann-Whitney), utilizándose el programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 22.0 (versión de prueba, 16/08/13).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento, cuantificación e identificación bioquímica de las bacterias. Tal como se registra en la tabla 1, se obtuvieron valores para *E. coli*, que oscilaron desde 0 hasta 79×10^3 UFC/mL, con un valor medio de $2,615 \times 10^3$ UFC/mL. Para la especie *S. typhi*, los recuentos variaron entre 0 a 252×10^3 UFC/mL, con una media de $2,907 \times 10^3$ UFC/mL y para *E. faecium*, desde 0 a 280×10^3 UFC/mL, con una media de $9,480 \times 10^3$ UFC/mL.

Análisis cuantitativo de PGI. En el análisis parasitológico, se observaron formas ovales y redondas de 10 a 15 μm , con 1 a 4 núcleos compatibles con *E. histolytica* (PHAC, 2011).

La prueba estadística de Kruskal-Wallis determinó que, al menos, una de las fechas de muestreo fue estadísticamente diferente para *E. coli* ($P=0,003$) y *Entamoeba histolytica* ($P=0,336$). En cuanto a los puntos de muestreo, al menos uno fue diferente para la población de *E. coli* ($P=0,442$), *S. typhi* ($P=0,149$), *E. faecium*, ($P=0,000$) y los ooquistes/mL de *E. histolytica*. ($P=0,360$) (Tabla 2).

Al comparar el agua tratada con los puntos de muestreo del río hubo un aumento en el promedio de bacterias del género *E. faecium*, de $0,027 \times 10^3$ UFC/mL, por el contrario *S. typhi*, con $1,044 \times 10^3$ UFC/mL y *E. coli*, con $0,013 \times 10^3$ UFC/mL, disminuyeron. En cuanto a *E. histolytica*, en el centro del cauce se observó una media de 7,83 quistes/mL, en comparación al borde derecho ($0,007 \times 10^3$ quistes/mL) e izquierdo ($0,007 \times 10^3$ quistes/mL), en promedio (Tabla 3).

Con relación a la heterogeneidad de las muestras, mediante la prueba U de Mann-Whitney (Tabla 4), se puede concluir que en el agua tratada *E. faecium* presentó diferencias significativas en todos los puntos del río (para el Borde derecho el valor fue de $P=0,001$),

Tabla 1. Recuento de bacterias en UFC/mL.

Valor	<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL)	<i>Salmonella</i> spp. (UFC/mL)	<i>Enterococcus</i> spp. (UFC/mL)
Mínimo	0	0	0
Medio	2,615x10 ³	2,907x10 ³	9,480x10 ³
Máximo	79x10 ³	252x10 ³	280x10 ³

Tabla 2. Resultados de la prueba estadística Kruskal- Wallis para las fechas y los puntos de muestreo.

Microorganismo	Fechas de muestreo	Puntos de muestreo
<i>Escherichia coli</i>	0,003	0,442
<i>Salmonella typhi</i>	0,053	0,149
<i>Enterococcus</i>	0,835	0
<i>Entamoeba histolytica</i>	0,336	0,36

Fechas de muestreo: 6 de abril, 27 de abril, 18 de mayo y 7 de junio.

Puntos de muestreo: Borde derecho, centro, borde izquierdo, agua tratada.

Tabla 3. Promedio de UFC/mL de bacterias y quistes/mL en los puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	<i>Escherichia coli</i> (UFC/mL)	<i>Salmonella typhi</i> (UFC/mL)	<i>Enterococcus faecium</i> (UFC/mL)	<i>Entamoeba histolytica</i> (UFC/mL)
Borde derecho	1,381x10 ¹	1,850x10 ¹	1,013x10 ¹	0,717x10 ¹
Centro	1,981x10 ¹	2,000x10 ¹	1,638x10 ¹	0,783x10 ¹
Borde izquierdo	1,606x10 ¹	1,706x10 ¹	1,169x10 ¹	0,750x10 ¹
Agua tratada	1,331x10 ¹	1,044x10 ¹	2,781x10 ¹	0,350x10 ¹

indicando que, con un nivel de significancia del 5%, se rechaza H_0 a favor de H_1 y se evidencia resultados semejantes para el Centro, con un $P=0,001$ y para el Borde izquierdo, con un $P=0,001$, igualmente *Entamoeba histolytica*, también presentó diferencias significativas en todos los puntos del río (Borde derecho $P=0,012$; Centro $P=0,012$; Borde izquierdo $P=0,012$).

Exposición al agua. De acuerdo con el análisis de las encuestas efectuadas, se determinó que el agua se destina para la preparación de alimentos, aseo personal y agricultura. Con relación a la frecuencia de exposición anual es de 365 días, ya que hacen uso de esta agua todo el año. En cuanto a los síntomas, los habitantes reportaron diarrea, dolor de estómago, fiebre y vomito.

Evaluación cuantitativa de riesgos microbiológicos (ECRM). En la tabla 5, el mayor porcentaje de infección, con una sola exposición, está dado por *E. faecium*, del 97%, seguido de *S. typhi*, con un 94% y 1,59%, para *E. coli*.

Para el punto de muestreo (agua tratada), *E. faecium* presentó un valor del 97%; *S. typhi* obtuvo un índice del 93%, mientras que el riesgo de infección para *E. coli*, de 1,59%, solo se presentó en el

primer muestreo. Para los ooquistes de *E. histolytica* fue del 100%, para los tres puntos de muestreo, pero no se detectaron ooquistes en el agua tratada.

Caracterización del riesgo anual. El riesgo anual de infección para *S. typhi* y *E. faecium* fue del 100%; para *E. coli*, del 99% y *E. histolytica* tuvo un índice del 100%, indicando que los cuatro patógenos tienen un alto porcentaje de infección anual que, probablemente, puede llegar a provocar alteraciones en la salud a lo largo del año, en los individuos que consumen esta agua.

Se demostró que existe presencia de microorganismos patógenos, como *Escherichia*, *S. typhi*, *E. faecium* y *E. histolytica* en las aguas del río Chicamocha, en el sector El Terrenal, del municipio de Boavita-Boyacá, lo que indica la existencia de contaminación fecal. Esto puede estar asociado a la descarga de aguas residuales municipales e industriales (CORPOBOYACÁ, 2006).

Los recuentos obtenidos de *E. coli* variaron entre 0 a 79×10^3 UFC/mL, en comparación con Nuñez *et al.* (2014), quienes en las aguas grises de la provincia de Buenos Aires, obtuvieron valores entre

Tabla 4. Resultado de diferencias estadísticas de U de Mann-Whitney, entre los puntos de muestreo y el agua tratada con el Tuno.

Zona de muestreo		<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella typhi</i>	<i>Enterococcus faecium</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>
Agua tratada vs.	Borde derecho	0,487	0,9	0,001	0,012
	Centro	0,428	0,36	0,001	0,012
	Borde izquierdo	0,945	0,119	0,001	0,012

Tabla 5. Porcentaje de infección por una sola exposición.

Fechas de muestreo	Puntos de muestreo	<i>Escherichia coli</i>		<i>Salmonella typhi</i>		<i>Enterococcus faecium</i>		<i>Entamoeba histolytica</i>
		D1%	D2%	D1%	D2%	D1%	D2%	D1%
6 de abril	BD	>0,007	0	94	0	0	0	ND
	CE	0,068	>0,007	94	>53	>53	>53	ND
	BI	0,024	0	93	>53	>53	0	ND
	AT	>0,007	1,59	93	92	92	97	ND
27 de abril	BD	0	0	70	>53	>53	0	0
	CE	>0,007	0	70	>53	>53	0	100
	BI	>0,007	0	70	>53	>53	0	0
	AT	0	0	0	>53	82	>53	0
18 de mayo	BD	0	0	82	>53	0	0	100
	CE	>0,007	0	81	>53	>53	>53	0
	BI		0	81	>53	>53	0	100
	AT	0	0	0	>53	81	89	0
7 de junio	BD	0	0	77	>53	>53	0	99
	CE	0	0	78	>53	0	>53	100
	BI	0	0	53	>53	0	0	100
	AT	0	0	0	0	77	>53	0

BD: Borde Derecho; **CE:** Centro; **BI:** Borde Izquierdo; **AT:** Agua Tratada; **D1:** Dilución 10⁻¹; **D2:** Dilución 10⁻²; **ND:** Determinado.

160×10³ a 2500×10³ UFC/100mL y a los hallados por Yapo *et al.* (2014), que estuvieron en concentraciones de 128 a 29,7 × 10³ UFC/100mL, en un canal de aguas residuales.

Es importante destacar que *E. coli* es una especie bacteriana comensal del intestino humano; existen ciertas cepas que causan diferentes enfermedades. Entre los principales patotipos causantes de diarrea, se encuentra *E. coli* enterohemorrágica, asociada a ETA. Esta cepa ha generado epidemias y casos esporádicos de diarrea y colitis hemorrágica (Pennington, 2010; Onanuga *et al.* 2014).

El aislamiento de coliformes fecales en la cuenca del río Chicamocha concuerda con los resultados obtenidos en el trabajo del comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferentes tipos de aguas de la sabana de Bogotá. Estas concentraciones de indicadores fecales son un reflejo de las constantes y repetidas contaminaciones que recibe el río a lo largo de su cauce, por efluentes de agua doméstica, lo que hace difícil que puedan tener procesos de autodepuración (Campos *et al.* 2008).

Los resultados advierten a las autoridades en salud pública del municipio, que el agua analizada no es apta para el consumo humano y representa un gran riesgo para la población de El Terrenal, situación también descrita por Corrales *et al.* (2014), para el río Bogotá, que reportaron *E. coli* y coliformes totales. Silva *et al.* (2017), quienes evaluaron la del río Fonce, en San Gil, Colombia, encontrando que los valores de coliformes totales y *E. coli* están por fuera de lo permitido en la normatividad para uso primario y secundario del agua y Chavez-Ortiz *et al.* (2017) determinaron que el río Ventilla, en el Amazonas, Perú, no es apto para el consumo humano, dado los parámetros microbiológicos encontrados, que representan contaminación, por aguas residuales.

Las concentraciones de *Salmonella typhi* (0 a 252×10³ UFC/mL), para la cuenca del río Chicamocha, sector El Terrenal, esta también asociado a la presencia de materia orgánica, como resultado del vertimiento de aguas residuales (Abulreesh, 2012).

El *E. faecium*, osciló entre 280×10^3 a $34,5 \times 10^3$ UFC/mL, posiblemente, relacionado con la disminución de las precipitaciones durante el periodo de muestreo. El aumento de la concentración de esta bacteria en el agua tratada por la planta de tuno puede estar asociado a su resistencia al cloruro de sodio, al 6,5%, pH 6-9, temperaturas entre 10 y 45 y altas concentraciones de sales biliares y detergentes (Flahaut *et al.* 1996).

Se halló *Entamoeba histolytica*, de gran relevancia epidemiológica, ya que su presencia es indicativa de materia orgánica en el agua, además de la patogenicidad que presenta (Al Rumhein *et al.* 2005). Por otra parte, los ooquistes de parásitos están asociados a aguas residuales, siendo las zonas tropicales donde existe una mayor transmisión de este patógeno, por ingesta de aguas contaminadas. En el agua tratada no se encontraron ooquistes de *Entamoeba histolytica*, porque, probablemente, son arrastrados y sedimentados al fondo del tanque de almacenamiento.

Respecto a la ECRM, según la tabla 5, se encontró que la población que consume esta agua tiene un alto riesgo de infección, ya que dichos porcentajes son muy cercanos al 100%, para *S. typhi*, *E. faecium* y *E. histolytica*.

Para el caso de la *E. coli*, el riesgo de infección está entre 0 y 1,59%, según la tabla 5, siendo estos los porcentajes más bajos, respecto a los demás géneros bacterianos, debido, principalmente, a que las constantes de las ecuaciones de dosis-respuesta son distintas (Nuñez *et al.* 2014) y a las concentraciones menores encontradas respecto a los otros grupos microbianos; sin embargo, el porcentaje más alto de infección por *E. coli* fue del 0,068%, por mL de la muestra, siendo mayor que el obtenido por Nuñez *et al.* (2014), que fue del 0,74, por cada 100mL y similar al encontrado por Teklehaimanot *et al.* (2015), que varió del 6 al 84%, por cada 100mL. De igual manera, *S. typhi* presentó el mayor riesgo con un valor de 94%, siendo este resultado más alto que el encontrado por Ottoson & Stenström (2003), que calculó un valor de 0,001%, en aguas negras.

En algunos puntos de muestreo, el porcentaje de infección bacteriana predominó el 90%, siendo superiores a otros estudios realizados en ríos de África. Genthe (2013) reportó un índice de 1 a 26% y Le Roux *et al.* (2012), del 26%, por patógenos del río Olifants. Un estudio más reciente, realizado por Teklehaimanot *et al.* (2015), informó un riesgo de infección para diferentes microorganismos enteropatógenos, del 20 al 60%, en cuatro ríos que reciben vertimientos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

El riesgo anual fue del 99%, para *E. coli*, similar al encontrado por Yapó *et al.* (2014), que osciló entre 90 y 99%, en un canal de aguas residuales. De igual forma, las demás bacterias y *E. histolytica* presentaron un porcentaje de infección del 100% que, posiblemente, podrían provocar enfermedades a lo largo de un año, en los individuos que consumen esta agua.

Con relación a la dosis asociada con infección es más baja para los protozoos, como *E. histolytica*, respecto a los valores para

bacterias, es decir, la ingestión de 1 a 10 ooquistes puede estar asociada con una alta probabilidad de infección. Por el contrario, una infección bacteriana puede requerir una ingestión de una media de 100 microorganismos, dependiendo de la bacteria patógena; sin embargo, bacterias como *Salmonella* y *E. coli* enterohemorrágica pueden causar infección con un número menor de microorganismos (Haas *et al.* 1999).

Conflicto de interés: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores quienes declaramos que no existe tipo de conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

1. ABULREESH, H. 2012. Salmonellae in the environment. En: Abbass, A.H.; Abdul, L.A.; Ado, J.; Alberto, M.; Alex, L.; Alexander, K.; Ali, D.S.; Andrea, N.; Angkoon, P. (eds). Salmonellae in the environment, distribution, adaptation, control measures and molecular technologies. Ed. Bassam Annous (EUA). p.19-50.
2. AL RUMHEIN, F.; SÁNCHEZ, J.; REQUENA, I.; BLANCO, Y.; DEVERA, R. 2005. Parasitosis intestinales en escolares: relación entre su prevalencia en heces y en el lecho subungueal. Rev. Biomed (Mexico). 16(4):227-237.
3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION-AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION-WEF. 2012. Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association (EUA). 22:1496.
4. CAMPOS, C.; CÁRDENAS, M.; GUERRERO, A. 2008. Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá (Colombia). Universitas Scientiarum (Colombia). 13(2):103-108.
5. CHAVEZ-ORTIZ, J.; RASCÓN, J.; PUICON, A. 2017. Evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales en la calidad del río Ventilla, Amazonas. Rev. Investigación para el Desarrollo Sustentable (Perú). 3(1):99-107. <http://dx.doi.org/10.25127/indes.20153.137>
6. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACA-CORPOBOYACÁ. 1999. Diagnóstico general de calidad del agua en la cuenca alta del río Chicamocha. Disponible desde internet en: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wpcontent/uploads/2015/11/diagnostico-capitulo2-pomca-chicamocha.pdf> (con acceso 01/12/2016).
7. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE BOYACÁ-CORPOBOYACÁ. 2006. Plan de ordenamiento

- y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. 669p. Disponible desde internet en: <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wpcontent/uploads/2015/11/diagnostico-capitulo2-pomca-chicamocha.pdf> (con acceso 01/12/2017).
8. CORRALES, R.L.C.; SANCHEZ, L.L.C.; ESCUCHA, R.F.A. 2014. Determinación de la presencia de bacterias patógenas para el humano en aguas de riego en la cuenca alta de la sabana de Bogotá (Colombia). NOVA (Colombia). 12(21):179-186. <https://doi.org/10.22490/24629448.1042>
 9. FLAHAUT, S.; FRERE, J.; BOUTIBONNES, P.; AUFRAY, Y. 1996. Comparison of the bile salts and sodium dodecyl sulfate stress responses in *Enterococcus faecalis*. Applied and Environmental Microbiology (EUA). 62(7):2416-2420.
 10. GENTHE, B. 2013. Health risk implications from simultaneous exposure to multiple environmental contaminants. Ecotoxicology and Environmental Safety (Holanda). 93:171-179 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.03.032>
 11. GOBERNACIÓN DE BOYACA. 2011. Boletines epidemiológicos. Boyacá. Colombia. Disponible desde internet en: <http://www.boyaca.gov.co/SecSalud/direcciones/direcci%C3%B3n-de-salud-p%C3%BAblica/vigilancia-salud-publica/bolet%C3%ADn-epidemiol%C3%B3gico> (con acceso 01/12/2016).
 12. HAAS, N.; JOAN R.; CHARLES, G. 1999. Quantitative microbial risk assessment. Edt. John Wiley & Sons, Ltda. (EUA). 449p.
 13. LE ROUX, W.J.; SCHAEFER, L.M.; GENTHE, B. 2012. Microbial water quality in the upper Olifants River catchment: implications for health. African Journal of Microbiology Research (EUA). 6(36):6580-6588. <https://doi.org/10.5897/AJMR12.1204>
 14. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL-MPS; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MAVDT. 2007. Resolución 2115. 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.
 15. NUÑEZ, L.; MOLINARI, C.; PAZ, M.; TORNELLO, C.; MANTOVANO, J.; MORETTON, J. 2014. Análisis de riesgo sanitario en aguas grises de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Rev. Int. Contam. Ambient (México). 30(4):341-350.
 16. ONANUGA, A.; IGBENEGHU, O.; LAMIKANRA, A. 2014. A study of the prevalence of diarrhoeagenic *Escherichia coli* in children from Gwagwalada, Federal Capital Territory, Nigeria. The Pan African Medical Journal. (Africa). 17:146. <https://doi.org/10.11604/pamj.2014.17.146.3369>
 17. OTTOSON, J.; STENSTRÖM T. 2003. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. Water Research (Holanda). 37(3):645-655. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00352-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00352-4)
 18. PENNINGTON, H. 2010. *Escherichia coli* O157. The Lancet (Reino Unido). 376:1428-1435.
 19. PUBLIC HEALTH AGENCY OF CANADA-PHAC. 2011. Pathogen safety data sheet and risk assessment. *Entamoeba histolytica*. Disponible desde internet en: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/laboratory-biosafety-biosecurity/pathogen-safety-data-sheets-risk-assessment/entamoeba-histolytica-pathogen-safety-data-sheet.html> (con acceso 20/05/2018).
 20. RENDTORFF, R.C. 1954. The experimental transmission of human intestinal protozoan parasites. II. *Giardia lamblia* cysts given in capsules. American J. Epidemiology (EUA). 59(2):209-222.
 21. RITCHIE, L.S.; LIN, S.; MOON, A.P.; FRICK, P.; WILLIAMS, J.E.; ASAKURA, S.; HISHINUMA, J. 1960. The possible effects of pH and Specific Gravity of the Ether-Sedimentation procedure in concentrating eggs and cysts. The American J. Tropical Medicine and Hygiene (EUA). 9(4):444-449.
 22. SAKAJI, R.; FUNAMIZU, N. 1998. Microbial risk assessment and its role in the development of wastewater reclamation policy. Rev. Wastewater Reclamation and Reuse. T. Asano, CRC Press, Boca Raton, (FL, USA). p.705-756.
 23. SILVA, C.; PINTO, G.; PINTO, R. 2017. Determinación de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Fonce en San Gil con base en el balance de oxígeno disuelto. Revista Matices Tecnológicos (Colombia). 6:30-35.
 24. SIXTOS, C. 2011. Procedimientos y técnicas para la realización de estudios coproparasitológicos. VIRBAC. (Colombia). 24:6-9.
 25. TEKLEHAIMANOT, Z.; GENTHE, B.; KAMIKA, I.; MOMBA, B. 2015. Prevalence of enteropathogenic bacteria in treated effluents and receiving water bodies and their potential health risks. Science of The Total Environment (Holanda). 518-519:441-449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.019>
 26. WESTRELL, T.; SCHÖNNING, C.; STENSTRÖM, T.; ASHBOLT, N. 2004. QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater

and sewage sludge treatment and reuse. *Water Science and Technology* (Reino Unido). 50(2):23-30.

27. YAPO, R.; KONÉ, B.; BONFOH, B.; CISSÉ, G.; ZINSSTAG, J.; NGUYEN-VIET, H. 2014. Quantitative microbial risk assessment related to urban wastewater and lagoon water reuse in Abidjan. Côte d'Ivoire. *Journal of water and health* (Reino Unido).12(2):301-9. <https://doi.org/10.2166/wh.2013.051>