



Análisis de la contaminación microbiológica en el río Combeima, municipio de Ibagué (Tolima, Colombia)*

Oscar Efrén Ospina Zúñiga**

Analysis of microbiological contamination in the Combeima river, Ibagué (Tolima, Colombia)

Análise da contaminação microbiológica no rio Combeima, município de Ibagué (Tolima, Colômbia)

RESUMEN

Introducción. El nivel de contaminación microbiológica en el río Combeima, principal fuente hídrica de la ciudad de Ibagué. **Objetivo.** Se determinó para analizar su potencial riesgo para consumo humano, para fines recreativos y otros usos. **Materiales y métodos.** A partir de registros de concentración promedio mensual de coliformes totales y fecales, mediante muestreos realizados en la bocatoma de su sistema de acueducto durante el período comprendido entre los años 2008 a 2012, así como su correlación con la turbiedad

promedio mensual ocurrida. Además, durante el año 2014 y en temporada seca y lluviosa se tomaron muestras de agua en siete puntos localizados a lo largo de esta fuente hídrica, ubicados aguas arriba de la bocatoma del sistema de acueducto. **Resultados.** Los resultados obtenidos evidencian altos contenidos de contaminación microbiológica durante el tiempo analizado y con evidente incremento aguas abajo hasta llegar al sistema de acueducto, y son relevantes las descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento, las aportantes de coliformes fecales provenientes de viviendas rurales y por actividades pecuarias especialmente por

* Artículo original derivado del proyecto de investigación "Modelo de evaluación de cargas contaminantes en la cuenca alta del río combeima (M.E.C.A)" de la Universidad Cooperativa de Colombia, junio de 2013. ** Magíster Gestión Ambiental, Ingeniero Civil – Profesor Investigador Universidad Cooperativa de Colombia, oscar.ospina@campusucc.edu.co Ibagué, 2014.

producción porcícola y avícola; además, los cambios de turbiedad del río influyeron principalmente en las concentraciones de coliformes totales, no siendo relevante en los fecales. **Conclusión.** Para el año 2014, la temporada seca presentó mayor contaminación

microbiológica con relación a la lluviosa, lo que representa mayor riesgo para el consumo humano.

Palabras clave: contaminación microbiológica, turbiedad, temporada, río Combeima.

ABSTRACT

Introduction. The microbiological contamination level in the Combeima river. **Objective.** Was determined in order to analyze its potential risks for being consumed by humans, for recreation and other uses. **Materials and methods.** From reports of monthly average of total and fecal coliforms, by samplings performed in the intake of its aqueduct system between 2008 and 2012, plus its correlation with the monthly average turbidity occurred. Besides, during 2014 and during dry and rainy seasons, water samples were taken in seven places located throughout the river, in the upstream of the aqueduct system's intake. **Results.** The results obtained

show high microbiological contamination in the time of the analysis and an evident increase downstream, until waters arrive to the aqueduct system, and the discharges of not treated waste waters are relevant, including those with fecal coliforms from rural houses and from livestock activities, especially pig and poultry breeding. Besides, the changes in the river's turbidity influenced, mainly, the total concentrations of coliforms, but were not relevant in the fecal ones. **Conclusion.** In 2014, the dry season had a bigger microbiological contamination compared to the rainy one, thus being more hazardous for human consumption.

Key words: microbiological contamination, turbidity, season, Combeima river.

RESUMO

Introdução. O nível de contaminação microbiológica no rio Combeima, principal afluente hídrica da cidade de Ibagué. **Objetivo.** Se determinou para analisar seu potencial risco para consumo humano, para fins recreativos e outros usos. **Materiais e métodos.** A partir de registros de concentração médio mensal de coliformes totais e fecais, mediante amostras realizados na admissão de seu sistema de aqueduto durante o período compreendido entre os anos 2008 a 2012, assim como sua correlação com a turbidez média mensal ocorrida. Ademais, durante o ano de 2014 e em temporada seca e chuvosa se tomaram amostras da água em sete pontos localizados ao longo desta fonte hídrica, localizados águas acima da admissão do sistema de aqueduto. **Resultados.** Os resultados obtidos evidenciam altos conteúdos

de contaminação microbiológica durante o tempo analisado e com evidente incremento águas abaixo até chegar ao sistema de aqueduto, e são relevantes as descargas de águas residuais sem nenhum tratamento, os contribuintes de coliformes fecais provenientes de vivendas rurais e por atividades pecuárias especialmente por produção porcina e avícola; ademais, as mudanças de turbidez do rio influíram principalmente nas concentrações de coliformes totais, não sendo relevante nos fecais. **Conclusão.** Para o ano 2014, a temporada seca apresentou maior contaminação microbiológica com relação à chuvosa, o que representa maior risco para o consumo humano.

Palavras chave: contaminação microbiológica, turbidez, temporada, rio Combeima.

INTRODUCCIÓN

Desde los orígenes de la civilización, los seres humanos se han emplazado en las proximidades

de las corrientes fluviales, porque ello les garantiza el rápido abastecimiento del agua necesaria para satisfacer sus requerimientos básicos (Oyarzún, 2004). El uso del agua es el

mejor indicador del grado de desarrollo social y económico de un país. Es un elemento esencial no solo para la preservación de la vida humana sino también para la conservación de la flora y la fauna en una región (Sánchez, 2009). Los ecosistemas de los ríos (fluviales) pueden considerarse entre los más importantes de la naturaleza, y su existencia depende totalmente del régimen de los mismos. Por lo tanto, se debe tener gran cuidado para no alterar este régimen al actuar sobre el río y su cuenca, ya que una gestión poco responsable de los recursos del agua o su sobre explotación pueden tener efectos desastrosos para el ecosistema de la ribera (Munn, 2004). Las coliformes totales son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos. Vargas (2000) las define como “bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, no esporuladas y de forma alargada que desarrollan una colonia roja con brillo metálico”. La presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Munn, 2004). Según Campos (2001), los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, formados aproximadamente en el 95 % por *Escherichiacoli* y ciertas especies de *Klebsiella* que se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente por lo que se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Hay diversos tipos de *Escherichia*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden, incluso, ocasionar la muerte (Mora y Calvo, 2010).

La Organización Panamericana de la Salud – PAHO– (2003) indica que las fuentes de agua utilizadas para diversas actividades generalmente contienen una mezcla de microorganismos autóctonos del medio y microorganismos patógenos, provenientes estos últimos de efluentes de aguas residuales, bañistas, procesos industriales, actividades agrícolas, entre otras. La contaminación de origen doméstico genera alto riesgo sanitario, debido a las altas

concentraciones de microorganismos de origen fecal que se puede encontrar (Campos, Cárdenas y Guerrero, 2008). Los desechos humanos y de animales que contienen a menudo patógenos intestinales, que entran al agua a partir de una gran variedad de fuentes como las plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR, los sistemas sépticos, las operaciones de ganado, la fauna, la escorrentía de las tierras rurales y urbanas, y las actividades agrícolas. La vía más importante de ingreso de la contaminación del agua sobre la salud humana es a través de la ingestión, al actuar como un vehículo importante para la transmisión de enfermedades intestinales (Olivas, Flores, Serrano, Soto, Iglesias, Salazar y Fortis, 2011). Para Solarte, Peña y Madera (2006), la baja eficiencia para remover algas en el caso de algunas granulometrías y tiempos de filtrado utilizados ha llevado a proponer valores más bajos de turbidez, planteándose un rango entre 0,1 y 1 UNT, porque, y de acuerdo con Vidaurre, Arraya, Figueroa y Salusso (2010), la mayoría de los protozoarios, por presentar una forma resistente a las condiciones ambientales, les permiten la supervivencia a los tratamientos físico-químicos del agua para consumo humano, siendo sus quistes y huevos muy resistentes a la cloración, por lo que se requiere optimizar el estado de los mantos filtrantes, la velocidad de filtración y la eficiencia de retrolavado de los filtros por ser operaciones clave en la remoción de protozoarios. Otro aspecto importante es que componentes de las partículas orgánicas que generan turbidez servirán también de nutrientes para los microorganismos que logren sortear el tratamiento de la planta o que se incorporen por algún mecanismo en la red de distribución y en los tanques de almacenamiento (Anónimo, 2001). Para Espigares (2006), numerosos virus entéricos humanos están potencialmente presentes en todos los tipos de aguas contaminadas con heces, los cuales pueden persistir luego del tratamiento convencional de aguas residuales, como ocurre con el virus de la hepatitis A VHA, que es muy estable y resistente a los agentes físicos y químicos debido a sus características estructurales, lo que explica su gran facilidad para transmitirse a través del agua y de los alimentos en condiciones teóricamente adversas.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca alta del río Combeima, definida aguas arriba del sitio de captación del sistema de acueducto urbano de Ibagué y que corresponde a una superficie aproximada de 184,45 km², ubicada en la parte centro-occidental del departamento del Tolima sobre el flanco oriental de la cordillera Central

de Colombia. El río Combeima cuenta con una longitud de cauce de 57,8 km, recorrido que hace desde su nacimiento en el volcán nevado del Tolima a una altura de 5220 msnm, hasta su desembocadura en el río Coello a una altura de 700 msnm, con un caudal promedio de 4 m³/s. La precipitación media anual es de 1816 mm y cuenta con una temperatura promedio de 17 °C. La ubicación geográfica del área de estudio se identifica en la figura 1.

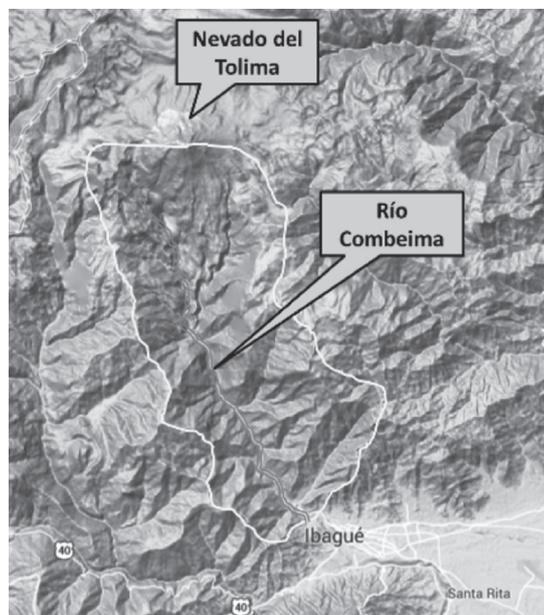


Figura 1. Localización general de la cuenca alta del río Combeima

Fuente: Google Maps, 2015

La población residente en la cuenca alta del río Combeima corresponde a 1071 habitantes que, sumada a la población flotante eventualmente presente dado el turismo que caracteriza la cuenca por su riqueza natural (García, Gordillo, Tovar y Ospina, 2014), produce aguas residuales domésticas que son arrojadas al cuerpo de aguas arriba de la bocatoma del acueducto urbano sin ningún tipo de tratamiento. Se trata de localidades rurales nucleadas ubicadas en las márgenes del río. Esta cuenca presenta usos del suelo que en general se refieren al desarrollo de actividades agropecuarias, que comprenden algunos cultivos

permanentes y en su mayoría el café, además de otra serie de cultivos alternativos. La actividad pecuaria se refiere a porcicultura, avicultura y piscicultura, con presencia dispersa de ganado vacuno en pequeña escala. La presencia de estos sectores productivos, representados principalmente por un número aproximado de 600 cerdos, contribuye en la generación y vertimiento de contaminantes sobre los cuerpos de agua, agravada por su extensión hasta el lecho mismo del río con aporte de contaminación directa o indirecta, por medio de residuales de la aplicación de plaguicidas y fertilizantes en el

sector agrícola (García et al., 2014). El turismo es un renglón importante en la economía de la región, dado el aprovechamiento que se le da a la riqueza natural del denominado cañón del Combeima, por el cual se accede al parque natural de los Nevados. Esta actividad atrae un significativo número de personas que de una u otra manera pueden incidir en las condiciones ambientales del sector, conjugado a la presencia de población residente, cuyas aguas residuales domésticas no poseen tratamiento y son descargadas directamente a la fuente hídrica.

El río Combeima es la principal fuente de abastecimiento para el sistema de acueducto de la ciudad de Ibagué, que comprende una población urbana de 512631 habitantes (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2005). De acuerdo con las concesiones de agua otorgadas por la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA–, el río Combeima provee 1860 l/s, la quebrada Cay 240 l/s y la quebrada Chembe 70 l/s, para un total de 2170 l/s (Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado IBAL S.A. ESP Oficial, 2011).

Fase de campo

Se establecieron 7 sitios de muestreo de agua cruda, localizados a lo largo del río Combeima y aguas arriba del sistema de captación del acueducto urbano de la ciudad de Ibagué, definidos como puntos estratégicos localizados con GPS en cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. El punto 1 corresponde a la parte alta de la cuenca hidrográfica donde el río no recibe descargas provenientes de actividades antrópicas, correspondiendo a las condiciones naturales de la fuente hídrica; el punto 7 se ubicó en la bocatoma del sistema de acueducto. Los demás puntos se localizaron en sitios intermedios que permitieron medir la incidencia de contaminación de las diferentes localidades rurales existentes, hotelería y las actividades pecuarias más relevantes, como se indica en la figura 2 donde se grafica esquemáticamente la ubicación de descargas y afluentes (García et al., 2014).



Figura 2. Esquema de la localización general de descargas y puntos de muestreo seleccionados en el río Combeima

Fuente: García et al., 2014

La localización de los puntos de muestreo se describe en la figura 3, donde se incluyen sus coordenadas, altitud y nombre.

Se realizaron muestreos de agua en estos 7 puntos para temporada seca y lluviosa, con el fin de evaluar el comportamiento de los coliformes totales y fecales a lo largo de la fuente hídrica, así como su correlación con respecto a la turbiedad. Los registros diarios de coliformes totales y fecales y turbiedad durante el periodo 2008-2012 fueron hechos en el laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Ibaguereña de Acueducto y alcantarillado IBAL S.A. ESP Oficial

(García et al., 2014), los cuales se promediaron mensualmente para analizar la contaminación microbiológica. Se estableció como principal guía para el procedimiento de muestreos de calidad de agua, la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-6, la cual define los principios que se aplican al diseño de programas de muestreo, técnicas de muestreo y manejo de muestras de agua de ríos y corrientes para su posterior evaluación física, química y microbiológica en laboratorio, determinándose su calidad en estas condiciones de análisis (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, 1996).

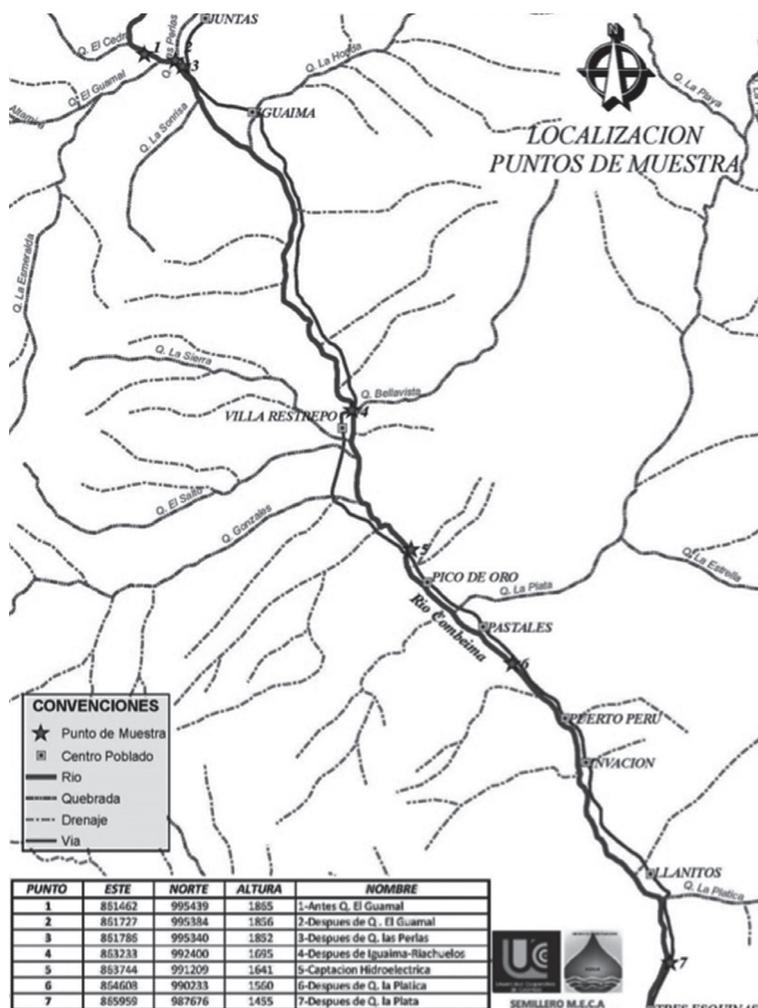


Figura 3. Plano de localización de puntos de muestreo seleccionados en el río Combeima

Fuente: García et al., 2014.

Laboratorio y planta de tratamiento de agua potable (PTAP)

En los 7 puntos seleccionados, se recolectaron muestras de agua en recipientes de vidrio de 1 litro de capacidad con previa rutina de limpieza y esterilización, transportándose bajo condiciones de refrigeración para su posterior análisis en el laboratorio. El proceso de análisis microbiológico se realizó con el laboratorio de Control de Calidad de la empresa IBAL S.A. ESP Oficial (certificado calidad ISO 9001). El método utilizado para la determinación de Coliformes totales (Ct) y Coliformes fecales (Cf) fue el de número más probable (NMP). La PTAP disponible en el sistema de acueducto urbano de Ibagué y a cargo de la empresa IBAL S.A. ESP Oficial, comprende un sistema de tratamiento convencional conformado por mezcla rápida (canaleta Parshall), coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

RESULTADOS

El río Combeima, durante el período 2008-2012, presentó concentraciones promedio mensuales de contaminación microbiológica que superaron los máximos valores admisibles de calidad de agua cruda para su destinación como recurso humano y doméstico a partir de su potabilización solamente mediante tratamiento convencional (hasta 20000 NMP/100 mL para Ct y 2000 NMP/100 mL para Cf), según lo establece el Decreto 1594 (Ministerio de Agricultura, 1984). Para los 60 meses analizados, solamente 7 de ellos presentaron valores inferiores al admisible para Ct, correspondientes a febrero y julio de 2009, febrero y marzo de 2010, noviembre de 2011, enero y septiembre de 2012. Con relación a Cf, ningún mes presentó valor promedio inferior al admisible, como se describe en la figura 4.

En la figura 5 se graficaron Ct y Cf contra la turbiedad mensual promedio para el período 2008-2012, siendo característico que el desprendimiento de sedimentos del suelo manifestado como turbiedad en el río arrastre microorganismos que se incorporen al cuerpo de agua, por lo que el aumento de los Ct se da cuando se incrementa la turbiedad, lo cual no ocurrió con los Cf cuya variación no coincidió con la turbiedad; por lo tanto, no dependieron de ella.

Con las muestras de agua tomadas en el año 2014 en los 7 puntos de muestreo seleccionados, tanto para temporada seca como para temporada lluviosa se determinó la concentración de Ct, Cf y turbiedad, graficándose según se describe en la figura 6. Se obtuvo que la mayor concentración de Ct se presentó generalmente en temporada de lluvia y la de Cf, en temporada seca. El punto de muestreo 7 correspondió a la bocatoma del acueducto urbano, donde los Ct y Cf para las dos temporadas superaron el valor máximo admisible por la norma Colombiana (Ministerio de Agricultura, 1984), como ocurrió durante el período 2008-2012 descrito anteriormente.

Población, actividades pecuarias y hotelería descargan sus aguas residuales al río Combeima, lo que incide directamente en su contaminación microbiológica, como se puede apreciar en la figura 7. El valor admisible de Ct de la norma colombiana para tratamiento convencional (Ministerio de Agricultura, 1984) se supera a partir del punto de muestreo 5 (Hidroeléctrica), recibiendo la descarga de las comunidades de Juntas y Villa Restrepo, así como de hotelería y una porcícola. Esta concentración se sigue incrementando hasta la bocatoma. El valor admisible de Cf se supera desde el punto de muestreo 3 localizado después de la desembocadura de la quebrada las Perlas, donde recibe las descargas de la comunidad de Juntas, con incremento progresivo hasta la bocatoma.

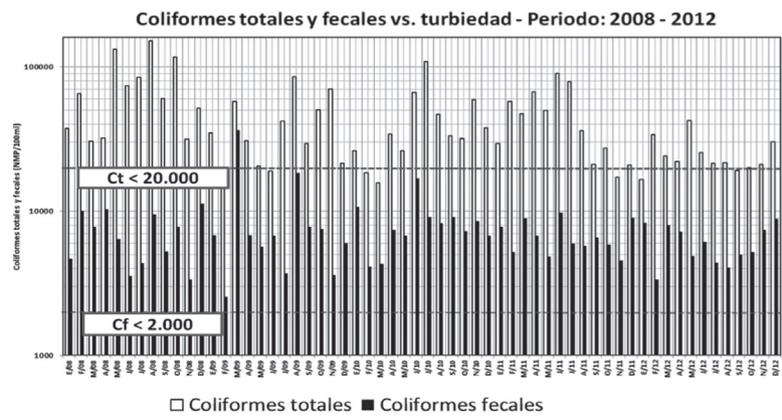


Figura 4. Gráfico de coliformes totales y fecales en el río Combeima. Período 2008-2012
Fuente: elaborado por el autor

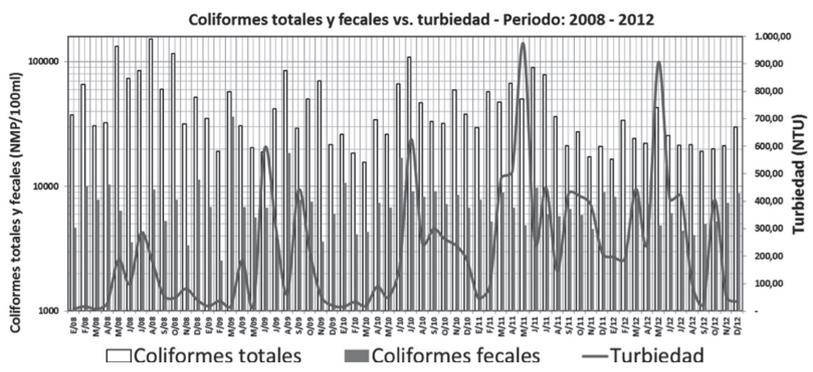


Figura 5. Gráfico de coliformes totales y fecales frente a turbiedad en el río Combeima. Período 2008-2012
Fuente: elaborado por el autor

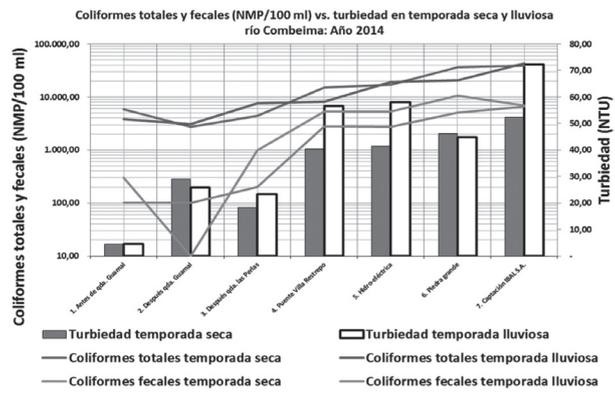


Figura 6. Gráfico de coliformes totales y fecales frente a turbiedad en temporada seca y lluviosa en el río Combeima. Año 2014
Fuente: elaborado por el autor

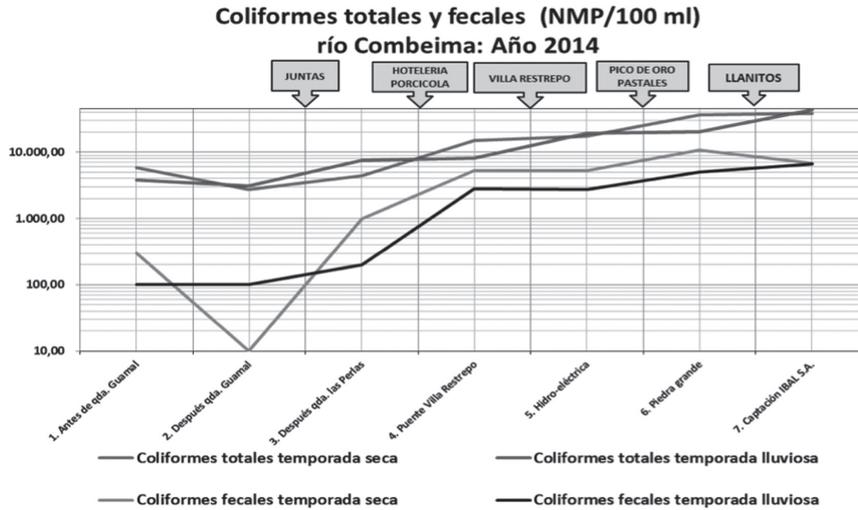


Figura 7. Gráfico de coliformes totales y fecales en temporada seca y lluviosa, a lo largo del río Combeima. Año 2014

Fuente: elaborado por el autor

DISCUSIÓN

El río Combeima es crucial para el abastecimiento del sistema de acueducto de la ciudad de Ibagué, pero su uso implica riesgo ante su alta contaminación microbiológica que debe ser removida mediante el sistema de tratamiento convencional existente. Como fuente de abastecimiento, dentro de la clasificación de los niveles de calidad en función de parámetros mínimos de análisis microbiológicos, se considera como “muy deficiente” por presentar valores promedio mensuales superiores a 5000 NMP de Ct (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), como ocurrió durante todo el período 2008-2012. Según la “Guía de evaluación de seguridad microbiológica para el agua potable” de la Organización Mundial de la Salud, esta fuente requiere un tratamiento físico intensivo, y desinfección, según la clasificación descrita en la tabla I (WHO & OECD, 2003), al presentar valores promedio mensuales durante el período 2008-2012 categorizados como A3 (2000 < Cf < 20000). Este tipo de tratamiento se refiere a pre-cloración, coagulación-floculación, sedimentación, filtración, adsorción con carbón activado y desinfección.

Esta fuente hídrica es utilizada con fines recreativos mediante contacto primario, dada

la vocación turística que existe en su cuenca alta, pero ante la contaminación microbiológica obtenida durante el período 2008-2012 no se cumple lo establecido en el Decreto 1594, donde se regula que para este fin los valores admisibles de Ctes 1000 NMP y de Cf es 200 NMP (Ministerio de Agricultura, 1984), y que la ausencia de control al respecto implica riesgo en la salud para quienes recurren a esta práctica recreativa.

Para el período 2008-2012 y en los ensayos realizados durante el 2014, la turbiedad en el sitio de captación del acueducto urbano de Ibagué fue alta, lo cual, sumado a la contaminación microbiológica del agua, puede tener incidencia negativa en la salud humana, teniendo en cuenta que se ha hallado clara vinculación entre el aumento de la turbidez y el riesgo de aparición de quistes de Giardia y Cryptosporidium. Según Doménech (2003), las patologías derivadas de la aparición de estos dos protozoos en el agua potable no preocupan tanto por su virulencia sino por la presumible indefensión en la que se encuentra la sociedad desarrollada frente a unos agentes que atraviesan con relativa facilidad las barreras de las plantas potabilizadoras y para los que, por lo menos para la criptosporidiasis, no existe ningún tratamiento farmacológico eficaz.

Tabla 1. Estándares de coliformes termo-tolerantes presentes en agua destinada a ser potable

Categoría	Coliformes termotolerantes	Tratamiento requerido	Descripción
	concentración / 100mL		
A1	20	Tratamiento físico simple y desinfección	Filtración Rápida + Desinfección
A2	2000	Tratamiento físico normal y desinfección	Pre-cloración+coagulación-floculación+sedimentación+filtración+desinfección
A3	20000	Tratamiento físico intensivo desinfección	Pre-cloración+coagulación-floculación+sedimentación+filtración+adsorción con carbón activado+desinfección
A4	>20000	No adecuado para producción de agua potable	

Fuente:WHO & OECD, 2003

CONCLUSIONES

La alta concentración de contaminantes microbiológicos en el río Combeima registrada en el período 2008-2012 y 2014, que caracteriza como una fuente muy deficiente (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000) y que requiere un tratamiento físico intensivo, además de desinfección (WHO & OECD, 2003), evidencia la falta de control sanitario y ambiental en su cuenca alta, donde las actividades antrópicas que generan residuales líquidos no poseen tratamiento alguno y se vierten al cuerpo de agua, contraviniendo lo establecido en el Decreto 3930 respecto a la prohibición de vertimientos, especialmente en cabeceras de fuentes de agua, en un sector aguas arriba de la bocatoma, o que ocasionen altos riesgos para la salud (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011). Muchas viviendas rurales de esta cuenca están ubicadas a lo largo del lecho del río Combeima, con dificultad espacial para la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales, incluso de carácter individual como pueden ser sistemas sépticos, lo cual, sumado a la ausencia de acción directa y sostenida del Estado para su establecimiento, agrava el problema sanitario y ambiental, planteando un significativo reto tecnológico y financiero al ente prestador del servicio para lograr obtener agua

apta para consumo humano, de acuerdo con lo establecido en la norma Colombiana (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Dada su alta contaminación microbiológica, es conveniente tener en cuenta que para la OMS, la presencia o ausencia de bacterias indicadoras fecales es otro parámetro de vigilancia operativa utilizado comúnmente, pero existen agentes patógenos que son más resistentes a la desinfección con cloro que el indicador utilizado con mayor frecuencia: E. coli bacterias coliformes termotolerantes. Por consiguiente, en determinadas circunstancias puede ser más oportuno utilizar como parámetro de vigilancia operativa la presencia de bacterias indicadoras fecales más resistentes (por ejemplo, enterococos intestinales), esporas de Clostridium perfringens colifagos (Organización Mundial de la Salud, 2004), lo cual debe ser tenido en cuenta por la Administración Municipal de Ibagué para el control de calidad del agua para consumo humano, considerando, además, la alta turbiedad que caracteriza a esta fuente y que obliga en reiteradas ocasiones a la suspensión del servicio.

El río Combeima es utilizado para riego en desarrollo de la actividad agrícola de la que deriva su sustento buena parte de las familias residentes

en su cuenca alta, pero ante su contaminación microbiológica y atendiendo lo establecido en el Decreto 1594, no puede ser usada para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto, porque el valor admisible de Ct no deberá exceder 5000 NMP y Cf 1000 NMP (Ministerio de Agricultura, 1984), lo que no ocurrió durante el período 2008-2012.

AGRADECIMIENTOS

Al personal profesional y técnico del laboratorio de Control de Calidad de la empresa IBAL S.A. ESP Oficial, por el apoyo brindado a la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anónimo (2001). La turbidité de l'eau potable. *Souscomité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable*. Santé Canada.
- Campos Pinilla, C.; Cárdenas Guzmán, M. & Guerrero Cañizares, A. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá (Colombia). *Universitas Scientiarum*, 13 (2).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE– (2005). *Estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005-2020 total municipal por área: Colombia*. Bogotá.
- Doménech, J. (2003). Cryptosporidium y Giardia, problemas emergentes en el agua de consumo humano. *Sanidad Ambiental*, 22 (11), 112-116.
- Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado IBAL S.A. ESP Oficial (2011). *Informe Plan de Gestión*. Recuperado de http://www.ibal.gov.co/ibal/plan_gestion_2011.pdf.
- García Cobas, G.; Gordillo Rivera, J.; Tovar Hernández, K. & Ospina Zúñiga, O. (2014). *Modelo MECA – Evaluación de cargas contaminantes en la cuenca alta del río Combeima*. (Tesis de pre-grado). Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué.
- Google Maps (2015). Recuperado de: <https://www.google.com.co/maps/@4.5301542,-75.2440044,11.58z/data=!5m1!1e4>.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC (1996). *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-6: "por medio de la cual se establece los principios que se aplican al diseño de programas de muestreo, técnicas de muestreo y manejo de muestras de agua de ríos y corrientes para su posterior evaluación física, química y microbiológica en laboratorio"*.
- Ministerio de Agricultura (1984). *Decreto 1594: "por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 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 - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos"*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2011). *Decreto 3930: "por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo I del Título VI-Parte III- Libro I del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"*. Bogotá.
- Ministerio de Desarrollo Económico (2000). *Resolución 1096: "por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS–"*. Bogotá.
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (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"*. Bogotá.
- Mora, J. y Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 23 (5), 34-40.
- Munn, C. B. (2004). *Marine Microbiology: ecology and applications*. New York: BIOS Scientific Publisher.
- Olivas-Enríquez, E.; Flores-Márgez, J. P.; Serrano-Alamillo, Mónica.; Soto-Mejía, E.; Iglesias-Olivas, J. M.; Salazar-Sosa, E. & Fortis-Hernández, M. (2011). Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al río bravo. *Terra latinoamericana*, 29 (4), 449-457.
- Organización Mundial de la Salud (2004). *Guías para la calidad del agua potable - Tercera Edición, Volumen I*. Ginebra.
- Oyarzún Gallardo, J. P. (2004). *Modelación y simulación de oxígeno disuelto, materia orgánica y relación distribucional de macroinvertebrados en la*

- subcuenca del río Traiguén*. Chile: Universidad Católica de Temuco.
- PAHO (2003). Promoting the healthy, safe use of recreational waters. Panam. Salud Public.
- Sánchez V., A. (2009). Antología curso: Geodinámica y problemas ambientales. *Doctorado en Ciencias Naturales para el desarrollo*, 3.ª promoción 2009 (p. 262). México: Universidad de Chapingo.
- Solarte, Y.; Peña, M. & Madera, C. (2006). Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano. *Colombia médica*, 37 (1), 74-82.
- Vargas G., C. (2000). Coliformes totales, termotolerantes y Escherichiacoli por el método de filtración de membrana. *Curso sobre métodos bacteriológicos para el análisis de Agua Potable*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS.
- Vidaurre, E.A.; Araya, N.; Figueroa, M. E. & Salusso, M. M. (2010). Enteroparasitosis en una población rural de riesgo de Salta. *Ciencia*, 5 (20), 41-52.
- WHO & OECD (2003). EC directive 75/440/EEC.