

COMPORTAMIENTO DE LOS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL EN DIFERENTE TIPO DE AGUAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ (COLOMBIA)

PERFORMANCE OF FAECAL CONTAMINATION INDICATORS IN DIFFERENT TYPE OF WATERS FROM THE SABANA OF BOGOTÁ (COLOMBIA)

Claudia Campos-Pinilla, Martha Cárdenas-Guzmán, Adriana Guerrero-Cañizares

*Grupo de Biotecnología Ambiental e Industrial, Departamento de Microbiología,
Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Cra. 7 # 43-82, Bogotá, Colombia
campos@javeriana.edu.co*

Recibido: 31-01-2008; Aceptado: 14-10-2008:

Resumen

El crecimiento acelerado de la población a nivel mundial ha generado un aumento en la demanda del recurso hídrico y en los niveles de contaminación del mismo. Los residuos tanto de origen doméstico como industrial generan problemas a nivel ambiental y de salud pública. En el caso específico de la contaminación de origen doméstico, el mayor riesgo se presenta por las altas concentraciones de materia orgánica y microorganismos patógenos que pueden difundirse a través del agua. Determinar la presencia de los patógenos en el agua requiere de laboratorios especializados y técnicas costosas que tardan varios días. Como alternativa, se propone el uso de indicadores de contaminación fecal (bacterias, virus y parásitos), los cuales requieren técnicas más sencillas, rápidas y económicas. Con el objeto de conocer la presencia, concentración y comportamiento de indicadores bacterianos (coliformes fecales), virales (fagos somáticos y F específicos) y parasitarios (huevos de helminto, *Giardia* spp., y *Cryptosporidium* spp.) en nuestras condiciones ambientales, se realizaron varios muestreos en aguas superficiales, subterráneas, sistemas de potabilización y depuración en la Sabana de Bogotá (Colombia). Los resultados mostraron la presencia de los indicadores propuestos en todas las muestras de agua y concentraciones similares a las encontradas en otros países con condiciones ambientales diferentes.

Palabras clave: agua, calidad, contaminación, indicadores, riesgo sanitario.

Abstract

The world's population is growing at such rate that not only the demands for water supply have raised considerably but also its contamination levels. Residues from domestic and industrial origin have generated environmental problems and public health issues. Water contamination coming from domestic origin, shows a higher risk because of the quantity of organic matter and the presence of pathogenic microorganisms. Due to determinations of these pathogens requires sophisticated laboratories and the techniques used for their detection are very costly and time consuming, it is proposed an alternative technique using bacteria, virus and parasites as faecal indicators, since they exhibit similar behaviour, and their determination techniques are a lot simpler, faster and low cost. The objective of the present study is to evaluate the occurrence, concentration and behaviour of indicators from bacterial origin as faecal coliforms, from viral origin as somatic coliphages and F-specific RNA bacteriophages, and from parasite origin such as helminth eggs, *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts. A series of samples were taken at surface, groundwater, drinking water and wastewater treatment system in the surrounding area of Bogotá (Colombia). The results show the presence of all microbial indicators in all water samples, in similar concentrations to those found in different countries with different environments.

Key word: contamination, indicators, quality, sanitary risk, water.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de origen doméstico genera un alto riesgo a nivel sanitario, debido a las altas concentraciones de microorganismos de origen fecal que se pueden encontrar. De aquí la importancia de poder contar con pruebas a nivel de laboratorio que permitan conocer las concentraciones de bacterias, virus y parásitos en pocas horas y por medio de técnicas económicas y fáciles de realizar. Los indicadores de contaminación fecal han demostrado ser una buena alternativa frente a la dificultad que representa identificar y cuantificar los patógenos causantes de enfermedades de origen hídrico.

En el caso de las bacterias se han utilizado varios indicadores. Entre ellos los más comúnmente utilizados y que representan algunos de los pocos parámetros que exigen la gran mayoría de las normativas a nivel mundial, son el grupo de los coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis* para el control de aguas potables, residuales y de uso recreativo. De igual forma se ha propuesto el uso de *Clostridium perfringens* como indicador de contaminación fecal lejana, en el caso de aguas subterráneas y como posible indicador de presencia de quistes de protozoos (Payment y Franco, 1993; Ferguson *et al.*, 1996).

La presencia de virus patógenos ha cobrado gran importancia en las últimas décadas como resultado de los estudios epidemiológicos y la mejora en las técnicas para su detección a nivel ambiental. Sin embargo, estas técnicas requieren de cultivos celulares y técnicas moleculares que no están al alcance de la mayoría de los laboratorios de análisis de aguas. Como alternativa, se ha propuesto el uso de bacteriófagos y entre ellos los que se han evaluado con mayor éxito son los fagos somáticos, F específicos y los que infectan *Bacteroides fragilis*. Se ha observado que su comportamiento es similar al de algunos virus causantes de enfermedades de origen hídrico y que su detección se puede hacer en pocas horas y con técnicas que representan poca dificultad frente a las utilizadas para los virus patógenos (Borrego *et al.*, 1987; IAWPRC, 1991). No se ha definido cuál es el más recomendado para el análisis de calidad de aguas y lo que se observa es que dependiendo del tipo de agua y de algunas condiciones ambientales en particular es recomendable el uso de uno o más de estos fagos.

En el caso de los parásitos, encontramos como principal riesgo la presencia de huevos de helminto y quistes de protozoos; dentro de éstos los más estudiados son los quistes de *Giardia* y ooquistes de *Cryptosporidium* (Carraro *et al.*, 2000). La detección y recuento de estos parásitos se

hace de manera directa y no se ha buscado un indicador alternativo, ya que su análisis es relativamente fácil de realizar en laboratorios con una infraestructura sencilla. La mayor dificultad en el caso de los quistes está representada en el uso del microscopio de fluorescencia.

En Colombia y como reflejo de lo que la legislación para aguas potables y residuales exige, sólo se realiza control de coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli*. De aquí la importancia de poder evaluar la presencia y concentración de otro tipo de indicadores en nuestras condiciones ambientales y conocer su comportamiento frente a barreras tanto naturales como artificiales. Como resultado de este tipo de análisis se podrán conocer cuáles son los microorganismos relacionados con enfermedades de origen hídrico en nuestro país e introducir nuevas herramientas de control de calidad de agua. Con el objeto de conocer el tipo y concentración de los indicadores de contaminación fecal, se seleccionaron diferente tipo de aguas (superficiales, subterráneas y provenientes de potabilizadoras y depuradoras) y se analizaron los indicadores bacterianos (coliformes fecales), virales (fagos somáticos y específicos) y parasitarios (huevos de helminto y *Giardia* y *Cryptosporidium*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio de estudio es la cuenca alta del río Bogotá, que atraviesa la Sabana de Bogotá. Esta cuenca se encuentra en una de las zonas más pobladas del país, con una importante actividad agropecuaria e industrial. El vertido de aguas tanto de origen doméstico como industrial, hacen de este río uno de los más contaminados del país. Los sistemas de tratamiento antes del vertido son insuficientes y los niveles de contaminación afectan de manera directa la salud de la población.

Las fuentes de agua seleccionadas para el análisis de los indicadores de origen fecal fueron:

- *Aguas superficiales*: Cuenca alta del río Bogotá.
- *Aguas subterráneas*: Pozos de aguas subterráneas en los acuíferos de Tilatá y Guadalupe.
- *Potabilizadora*: Sistema de tratamiento de aguas potables del municipio de Facatativa.
- *Depuradoras*: Sistema de lagunaje del municipio de Chocontá, Mosquera, Madrid y Subachoque.

Las muestras fueron recogidas durante 1999-2002. Para el río Bogotá se seleccionaron 5 estaciones de muestreo con

9 réplicas en cada una de las estaciones. En el caso de los pozos de los acuíferos de Tilatá y Guadalupe se muestrearon 10 pozos con un número de réplicas que variaban entre 2 y 15. En la planta potabilizadora de Facatativá se recogieron 10 muestras de entrada y 15 de salida. En los sistemas de lagunaje se recogieron 9 muestras de entrada y 9 de salida para el análisis de coliformes fecales y bacteriófagos en Chocontá y para huevos de helminto 4 muestras de entrada y 4 de salida en Mosquera, Madrid y Subachoque.

Los métodos utilizados para la detección de los indicadores son los siguientes:

- Coliformes fecales: APHA, 1998.
- Fagos somáticos: ISO 10705, 1999.
- Fagos F específicos: ISO 10705, 1995.
- *Giardia* y *Cryptosporidium*: Vesey et al., 1993.
- Huevos de helminto: Ayres y Mara, 1996.

El recuento de fagos somáticos y F específicos en el caso de las aguas subterráneas y las provenientes del sistema de potabilización se realizó según Sobsey and Hadzel (1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tablas 1, 2, 3 y 4 muestran los resultados de la concentración de microorganismos en los diferentes tipos de agua, expresados como la media geométrica en unidades logarítmicas₁₀ (UL). Coliformes fecales UFC/ 100 mL, fagos somáticos y F específicos PFP/ 100 mL en aguas superficiales y aguas provenientes del sistema de lagunaje o PFP/ L para aguas subterráneas y provenientes de la potabilizadora. *Giardia* quistes/L *Cryptosporidium* ooquistes /L y huevos de helminto/L.

En el río Bogotá la media geométrica para los coliformes fecales es de 4.22 UFC/100 mL y 3.50 y 2.67 PFP/ 100 mL para fagos somáticos y F específicos respectivamente. Estos datos coinciden con los encontrados por Skrabes et al. (2002) y Lucena et al. (2003) en ríos de Europa y Suramérica. La media geométrica para estos dos estudios en coliformes fecales está entre 2.47 y 3.7 UFC/100 mL, para fagos somáticos entre 3.25 y 3.8 y para F+ entre 2.31 y 2.7. En el río Bogotá se encontraron concentraciones promedio de *Giardia* de 1.33 quistes /L y *Cryptosporidium* 0.88 ooquistes/L. Estas concentraciones son similares con las encontradas por Carraro et al. (2000) en el río Po en Italia con un valor medio de ooquistes de *Cryptosporidium* de 0.2/L y de 1.3/L para quistes de *Giardia* y los encontrados en el río Llobregat en España con datos promedio de 0.77/L para *Cryptosporidium* y 0.73/L para *Giardia* (INCO, 2001).

Las concentraciones de los indicadores de contaminación fecal en el río Bogotá, son reflejo de los constantes efluentes que recibe a lo largo de su recorrido; por lo que es difícil que se observen procesos de autodepuración. El agua es utilizada para potabilizar, riego en agricultura y bebida de animales, causando altos porcentajes de morbi-mortalidad por enfermedades de origen hídrico especialmente en la población infantil.

En los pozos muestreados en los dos acuíferos la media geométrica para coliformes fecales se encuentra entre 1.07 y 1.74 UFC/100 mL y entre 1.99 y 2.06 y 1.78 y 2.04/L para fagos somáticos y F específicos respectivamente. En este caso no se analizó la presencia de parásitos ya que no se esperaban niveles importantes de contaminación debido a la profundidad de explotación de los pozos (20-500 m).

Duran (2001), encontró en pozos de aguas subterráneas en Cataluña valores promedio de $2.1 \times 10^4/100$ ml para

TABLA 1. Concentración de microorganismos en aguas superficiales (cuenca alta del río Bogotá)

	CF UFC/100 mL	CS PFP/100 mL	F+ PFP/100 mL	G Q/L	C Oq/L
n	44	44	44	31	31
Media	4.22	3.50	2.67	1.33	0.88
Máx.	5.85	4.68	4.04	2.52	1.52
Mín.	2.00	1.00	1.00	0	0

CF: Coliformes fecales. CS: fagos somáticos. F+: fagos F específicos. G: *Giardia* spp. C: *Cryptosporidium* spp.

TABLA 2. Concentración de microorganismos en aguas subterráneas (acuíferos de Tiltatá y Guadalupe)

	CF UFC/100 mL		CS PFP/L		F+ PFP/L	
	TILATA	GUADALUPE	TILATA	GUADALUPE	TILATA	ADALUPE
n	19	33	19	33	19	33
Media	1.74	1.07	2.06	1.99	1.78	2.04
Máx.	3.20	1.88	5.11	4.80	4.04	4.79
Mín.	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00

coliformes fecales y 3.9×10^0 y $2.1 \times 10^0/L$, para fagos somáticos y específicos respectivamente. Es importante anotar que la profundidad de explotación de estos pozos está entre 15 y 30 m, comparados con los evaluados en este estudio, los cuales tienen entre 20 y 500 m de profundidad. Estos resultados llaman la atención en relación a los niveles de contaminación observados en este tipo de agua. El origen de dicha contaminación puede estar relacionada con el hecho que cerca de estos pozos se han instalado pozos sépticos. No existe un perímetro de protección debido a que se encuentran animales como vacas y perros y muy cerca de los pozos pasa el río Botello el cual recibe parte de las aguas residuales de la población.

TABLA 3. Concentración de microorganismos en agua de entrada y salida del sistema de potabilización (Planta potabilizadora de Facatativá)

	CF UFC/100 mL		CSPFP/L		F+ PFP/L	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
n	10	15	10	15	10	15
Media	0.81	0	0.51	0.30	0	0
Máx.	1.04	0	1	0.30	0	0
Mín.	0	0	0	0	0	0

La media observada en el agua de entrada es de 0.81 UFC/100 mL para coliformes fecales, 0.51 PFP/L para fagos somáticos. En el agua de salida es de 0.30 PFP/L para los colifagos somáticos y ausencia de coliformes fecales y fagos específicos. En este caso no se analizó la presencia de parásitos ya que el agua provenía de los pozos evaluados en el acuífero Guadalupe. Ensayos realizados por Duran *et al.* (2003) con muestras de agua recogidas en estos pozos y adicionando 0.5 mg/L de cloro e incubados por 10 min., muestran reducciones mayores de $1-4 \log_{10}$ unidades/L para coliformes fecales y de 1.35 y $0.67 \log_{10}/L$ para fagos somáticos y F específicos respectivamente. Esto refleja la resistencia a la desinfección por cloro que se puede presentar en el caso de los virus. Los valores de entrada son más bajos que los encontrados en los pozos ya que antes de entrar al sistema de tratamiento, el agua se mezcla con agua de una represa y permanece allí por varios días favoreciendo los procesos de desinfección por acción de la sedimentación, rayos ultravioleta, cambios de pH y otros factores ambientales. Por esta razón se consideró importante evaluar el sistema de potabilización del municipio de Facatativá que se abastece en su mayor parte de pozos localizados en el acuífero de Guadalupe.

Como se observa en la tabla 4 las medias geométricas encontradas en el agua de entrada a los sistemas de lagunaje

TABLA 4. Concentración de microorganismos en agua de entrada y salida de los sistemas de lagunaje (Chocontá, Mosquera, Madrid y Subachoque)

	CF UFC/100 mL		CS PFP/100 mL		F+ PFP/100 mL		HH/L	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
n	9	9	9	9	9	9	12	12
Media	6.63	3.25	5.57	2.92	5.04	2.80	0.96	0
Máx.	7.54	3.85	6.34	3.74	6.00	3.60	1.57	0
Mín.	5.23	0	4.15	0	3.95	0	0	0

HH: Huevos de helminto.

son de 6.63 UFC/100 mL para coliformes fecales y 5.57 y 5.04 PFP/100 mL para fagos somáticos y fagos específicos respectivamente. En el agua de salida se observan medias geométricas de 3.25 UFC/ 100 mL para coliformes fecales y de 2.92 y 2.80 PFP/100 mL para fagos somáticos y F específicos respectivamente. Los huevos de helminto presentan valores de entrada de 0.96/L y ausencia de los mismos en el agua de salida.

Skraber *et al.* (2002) y Lucena *et al.* (2003) encontraron en aguas residuales sin tratamiento, medias geométricas entre 6.4 y 6.9 UFC/100 mL para coliformes fecales y entre 6.2 y 6.5 y 5.6 y 5.6 PFP/100 ml para fagos somáticos y F específicos. La eficiencia en la eliminación de huevos de helminto por medio de los sistemas de lagunaje ha sido ampliamente evaluada y se considera como el sistema más eficiente para eliminar microorganismos patógenos del agua. Los huevos de helminto se eliminan por medio de sedimentación. La gran mayoría se eliminan en la laguna anaerobia o facultativa y dependiendo del número de huevos de helminto presentes en el agua residual cruda y de los tiempos de retención hidráulica en la laguna anaerobia y facultativa se hace necesaria la incorporación de una laguna de maduración (Campos *et al.*, 2002; Madera *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

1. La presencia y concentración de indicadores bacterianos, virales y parasitarios coinciden con las encontradas en otros países con condiciones ambientales diferentes. Esto indica que este tipo de indicadores podrían ser utilizados en diferente tipo de aguas y condiciones ambientes.
2. Tanto las aguas superficiales (río Bogotá) como subterráneas (acuíferos de Tilatá y Guadalupe) presentan concentraciones elevadas de la mayoría de los indicadores evaluados lo que refleja importantes niveles de contaminación en el recurso hídrico utilizado para potabilización y como agua de riego en agricultura. La concentración de estos indicadores de origen fecal indica el riesgo sanitario al que está expuesta la población por el consumo directo o indirecto del agua.
3. Los resultados encontrados en el sistema de potabilización reflejan la eficiencia de estos sistemas para eliminar bacterias, lo que no ocurre cuando se pretende eliminar virus. Esto indica que el control de la presencia o ausencia de bacterias no garantiza por sí mismo el control de virus y parásitos presentes en el agua, los

cuales pueden ser resistentes a los sistemas de desinfección por cloro.

4. Los sistemas de lagunaje evaluados muestran un buen funcionamiento, el cual se refleja en la disminución de los indicadores de contaminación fecal, consiguiendo concentraciones que en la mayoría de los casos cumplen con las directrices sugeridas por la Organización Mundial de la Salud para el uso de aguas para riego en agricultura.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto “Evaluation of the usefulness of bacteriophages as model microorganisms for the assessment of water treatment processes and water quality” número ERB IC18-CT98-0282, financiado por la Comunidad Europea.

LITERATURA CITADA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard methods for examination of water and wastewater*. 20th edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation. Washington, D.C., United States. 1998; 1500 págs.
- AYRES, R. y MARA, D. *Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques*. World Health Organization. Geneva, Switzerland. 1996; 35 págs.
- BORREGO, J.; MORINIGO, M.; DE VICENTE, A.; CORNAX, R. y ROMERO, P. Coliphages as an indicator of fecal pollution in water. Its relationship with indicator and pathogenic microorganisms. *Water Research*, 1987, 21, 1473-1480.
- CAMPOS, C.; GUERRERO A. y CÁRDENAS, M. Removal of bacterial and viral fecal indicator organisms in a waste stabilization pond system in Chocontá, Cundinamarca (Colombia). *Water Science and Technology*, 2002, 45, 61-66.
- CARRARO, E.; FEA, E.; SALVA, S. y GILLI, G. Impact of a wastewater treatment plant on *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cyst occurring in a surface water *Water Science and Technology*, 2000, 47, 31-37.
- DURÁN, A. *Comportamiento de los bacteriófagos propuestos como microorganismos modelo frente a diferentes procesos naturales y artificiales en aguas*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, España, 2001.
- DURAN, A.; MUNIESA, M.; MOCÉ-LIVINA, L.; CAMPOS, C.; JOFRE, J. y LUCENA, F. Usefulness of different groups of bacteriophages as model micro-organisms for evaluating

- chlorination. *Journal of Applied Microbiology*, 2003, 95, 29-37.
- FERGUSON, C., COOTE, B.; ASHBOLT, L. y STEVENSON, I. Relationships between indicators, pathogens and water quality in an estuarine system. *Water Research*, 1996, 30, 2045-2054.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION ISO. *Water Quality - Detection and enumeration of Bacteriophages. Part 2: Enumeration of F-specific RNA Bacteriophages*. ISO 10705-1. Geneva, Switzerland. 1995, 17 págs.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION ISO. *Water Quality - Detection and enumeration of Bacteriophages. Part 2: Enumeration of Somatic Coliphages*. ISO 10705-2. Geneva, Switzerland. 1999, 17 págs.
- IAWPRC. Bacteriophages as model viruses in water quality control. *Water Research*, 1991, 25, 529-545.
- INCO-DC: INTERNATIONAL COOPERATION WITH DEVELOPING COUNTRIES. *Evaluation of the usefulness of bacteriophages as model microorganisms for the assessment of water treatment processes and water quality*. ERB IC18-CT98-0282. Barcelona, España. 2001, 10 págs.
- LUCENA, F.; MÉNDEZ, X.; MORON, A.; CALDERÓN, E.; CAMPOS, C.; GUERRERO, A.; CÁRDENAS, M.; GANTZER, C.; SHWARTZBROD, L.; SKRABER, S. y JOFRE, J. Occurrence and densities of bacteriophages proposed as indicators and bacterial indicators in river waters from Europe and South America. *Journal of Applied Microbiology*, 2003, 94, 808-815.
- MADERA, C.; PEÑA, M. y MARA, D. Microbiological quality of a waste stabilization pond effluent used for restricted irrigation in Valle del Cauca, Colombia. *Water Science and Technology*, 2002, 45, 139-143.
- PAYMENT, P. y FRANCO, E. *Clostridium perfringens* and somatic coliphages as the indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoa cysts. *Applied and Environmental Microbiology*, 1993, 59, 2418-2424.
- SKRABER, S.; GANTZER, C. y SCHWARTZBROD, L. Fates of bacteriophages and bacterial indicators in the Moselle river (France). *Water Research*, 2002, 36, 3629-3637.
- SOBSEY, M. y HANDZEL, T. A simple membrane filter method to concentrate and enumerate male-specific RNA coliphages. *Journal of the American Waterworks Association*, 1990, 82, 52-59.
- VESEY, G.; SLADE, J.; BYME, M.; SHEPHERD, K. y FRICKER, C. A new method for the concentration of *Cryptosporidium* oocysts from water. *Journal of Applied Bacteriology*, 1993, 75, 82-86.