

LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA DEL HUMEDAL JABOQUE (BOGOTÁ, COLOMBIA) EN DOS ÉPOCAS CONTRASTANTES

The bacteriological quality of the water of the Jaboque (Bogotá, Colombia) wetland during two contrasting seasons

SARA LILIA ÁVILA DE NAVIA

SANDRA MÓNICA ESTUPIÑÁN-TORRES

ÁNGELA MARÍA MEJÍA GRAJALES

LADY VIVIANA MORA VELÁSQUEZ

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad de Ciencias de la Salud, Programa de Bacteriología y Laboratorio Clínico. sestupinan@unicolmayor.edu.co

RESUMEN

La contaminación del agua ha incidido para que se convierta en el principal medio de transporte de microorganismos patógenos, razón por la cual se han generado sistemas de tratamiento naturales y artificiales, que buscan disminuir la concentración de contaminantes, dicha función la cumplen los humedales que tienen importancia a nivel ambiental. Bogotá tiene trece humedales, el humedal de Jaboque tiene aproximadamente 148.51 hectáreas, y está ubicado en la localidad de Engativá. Se evaluó la calidad bacteriológica del agua del humedal de Jaboque en época seca y época de lluvia en el año 2010 por medio de la determinación de coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus* spp., además se caracterizó la presencia de *Aeromonas*, *Pseudomonas* y *Clostridium*. Se utilizó la técnica de filtración por membrana y se identificaron los microorganismos con pruebas rápidas Crystal BBL. Se obtuvo como resultado un recuento significativamente alto en UFC/100mL de coliformes totales y *Enterococcus* spp. con un comportamiento similar en época seca y época de lluvia, mientras que la cantidad de *Escherichia coli* aumentó en época de lluvia. Los géneros *Pseudomonas* y *Clostridium* mostraron presencia con un recuento significativamente alto en época seca y época de lluvia y el género *Aeromonas* aumentó las UFC/100mL en época de lluvia. Se compararon los resultados con un estudio previo realizado en 2004-2005 y se determinó que la calidad bacteriológica del agua mejoró debido a las intervenciones realizadas en el humedal.

Palabras clave. Calidad del agua, humedal urbano, contaminación, microorganismos.

ABSTRACT

Water is the most widely used natural resource in the world and pollution has become the main mean of transport for pathogenic microorganisms. Bogotá possess 13 wetlands, the Jaboque wetland that is approximately 148.51 hectares, is located in the town of Engativá. We evaluated the bacteriological water quality of Jaboque wetland through the Total coliforms, *Escherichia coli* and *Enterococcus* spp. Also studied *Aeromonas*, *Pseudomonas* and *Clostridium* in the dry season and rainy season in 2010. We used the technique of membrane filtration and microorganisms were

identified with BBL Crystal rapid tests. This resulted in significantly higher counts of total coliforms UFC/100mL and Enterococcus spp. with similar behavior in the dry season and rainy season, while Escherichia coli UFC/100mL increased during the rainy season. The genera *Pseudomonas* and *Clostridium* UFC/100mL showed the presence of a significantly higher count in the dry season and rainy season and increase the UFC/100mL and the genus *Aeromonas* UFC/100mL increase in the rainy season. The results were compared with a previous study conducted in 2005 and it was possible to determine that the bacteriological quality of the water improved due to the interventions performed in the wetland.

Key words. Water Quality, Wetlands, Coliforms, *Aeromonas*, *Pseudomonas* and *Clostridium*.

INTRODUCCION

El agua es el recurso natural más utilizado y debido a su mal manejo su contaminación aumenta de forma acelerada. Uno de los mayores problemas es la presencia de microorganismos patógenos, ya que el agua posee las sustancias nutritivas suficientes que permiten el desarrollo de diversos microorganismos que provienen del contacto previo con el aire, el suelo, animales, plantas, o fuentes de contaminación como materia fecal (Romero 2002). Los materiales de desecho y las aguas residuales tienen una influencia importante sobre los cuerpos de agua a los cuales son vertidos, pues la microflora de los medios acuáticos sufre cambios significativos que contribuyen a la variación de su calidad (Rheinheimer 1997). Se ocasiona así un impacto en el medio ambiente y en los seres vivos, ya que la transmisión de microorganismos patógenos a través de fuentes de agua ha sido causa grave de epidemias (Romero 2002). Entre los agentes patógenos relacionados con la transmisión a través del agua, se encuentran bacterias, virus, protozoos y otros microorganismos que en los últimos años ha aumentado su frecuencia (Ávila *et al.* 2005)

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, adelantó desde el año 2009, la construcción del interceptor Encor que corresponde al sistema troncal sanitario de la cuenca del Humedal de Jaboque, recibe las descargas

sanitarias producidas en las cuencas de Engativá, la zona servida de la estación de bombeo de Villa Gladys y zonas de futuro desarrollo de la localidad, para luego ser conducidas hasta la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR Salitre. El objetivo de esta obra fue contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de los más de 200 mil habitantes del occidente del Distrito Capital.

El objetivo del presente estudio fue caracterizar la calidad bacteriológica del agua del humedal Jaboque después de la puesta en marcha del interceptor Encor y de las diferentes acciones desarrolladas por la E.A.A.B. y comparar los resultados con los obtenidos en los años 2004-2005, para determinar si estas estrategias han sido útiles para reducir la contaminación del ecosistema, favorecer su conservación y restauración, y mejorar la calidad de vida de los bogotanos.

MATERIALES Y METODOS

Toma de muestra

Se tomaron muestras de agua superficial en trece estaciones de muestreo (figura 1) utilizadas en el estudio anterior llevado a cabo en 2005 (Ávila *et al.* 2005), que corresponden a los siguientes puntos: 59 (J1), L52 (J3), L51 (J4), J42 (J5), L47 (J6), K44 (J7), H36 (J8), G30 (J9), E23 (J10), D19 (J11), C13 (J12), B10 (J13) y A3 (J14). Las estaciones J42 (J5),

H36 (J8), G30 (J9), E23 (J10), D19 (J11), C13 (J12), B10 (J13) y A3 (J14), corresponden a la zona no canalizada del Humedal y las restantes a la zona de adecuación de canales perimetrales para recolección de aguas lluvias. La obtención de las muestras se realizó teniendo en cuenta las recomendaciones de Andreu y Camacho (2002). El primer muestreo se llevó a cabo en el mes de marzo de 2010 (época seca 180 mm de lluvia) y el segundo se realizó en el mes de mayo (época húmeda 350 mm de lluvia) del mismo año.

Procesamiento de muestras

La metodología empleada para el análisis de los grupos de microorganismos fue la recomendada por la EPA (Environment Agency. 2002). La técnica utilizada para el análisis bacteriológico del agua fue la filtración por membrana. Esta técnica consiste en filtrar al vacío la muestra del agua sobre una membrana filtrante estéril, una vez filtrada el agua, se retira la membrana y se deposita con pinzas estériles sobre un medio de cultivo específico para cada indicador, para su posterior incubación. Los medios utilizados para las

bacterias indicadoras de contaminación de aguas fueron: agar endo NPS (coliformes totales), agar M-FC (*Escherichia coli*), agar azida NPS (*Enterococcus*), agar cetrimide NPS (*Pseudomonas*) y agar m-Aeromonas (*Aeromonas*). La identificación de algunos de los microorganismos aislados se realizó mediante subcultivos en los mismos medios usados para los recuentos anteriormente mencionados. Después de obtener colonias aisladas, se llevó a cabo la identificación por medio de pruebas bioquímicas rápidas Crystal BBL, para Enterobacterias y bacterias Gram positivas.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa PAST (statistical paleontology), se realizó el análisis de similitud (ANOSIM), el cual se basó en una matriz de similitud calculada mediante el índice de Bray Curtis (Clarke y Warwick 1994). Este es un análisis multivariado que define si hay diferencias significativas entre los datos de los dos muestreos, en términos de abundancia de las bacterias aisladas.



Figura 1. Grilla de trabajo. Estaciones para la toma de muestras de agua superficial. (J1: 59, J3: L52, J4: L51, J5: J42, J6: L47, J7: K44, J8: H36, J9: G30, J10: E23, J11: D19, J12: C13, J13: B10, J14: A3) (Tomado de Ávila & Estupiñán, 2006)

RESULTADOS

En el 2010, el recuento de las bacterias aisladas coliformes totales, *E. coli*, *Enterococcus* spp., especies de *Pseudomonas*, *Aeromonas* y *Clostridium* muestran un bajo nivel de similitud (ANOSIM, Test global, $R= 0.1648$ y $P= 0.1048$), entre las muestras tomadas en época seca (marzo) y las de época de lluvia (mayo). En la figura 2, se observa que los recuentos obtenidos en época seca son menores a los obtenidos en época de lluvias excepto para las *Aeromonas*.

De los otros géneros de microorganismos estudiados se determinó el promedio del recuento en UFC/100 mL tal como se muestra en la tabla 1. En época seca el mayor promedio lo obtuvo *Aeromonas* y en época de lluvia las especies de *Pseudomonas*; *Enterococcus* spp., mostró un recuento más alto en época lluvia, el menor promedio en recuento en UFC/100 mL tanto en época seca como época de lluvia lo presentaron las especies de *Clostridium*.

Como en el estudio de los años 2004-2005 (Ávila et al. 2005) las estaciones con menores recuentos corresponden a la zona más conservada del humedal D19 (J11), C13 (J12), B10 (J13) y A3 (J14).

DISCUSIÓN

En el humedal de Jaboque se encontró un recuento significativo de especies de *Enterococcus*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Clostridium* y de Coliformes totales en el año 2010, estos resultados son similares a los mencionados por Avila et al (2006). El recuento de *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp. y coliformes totales aumentó en época de lluvia, condición que puede deberse a escorrentías superficiales tal como se señala en Caballero et al. (2007) en el río Ochomogo, Nicaragua. De igual manera Pérez et al. (2006) en un estudio realizado en Argentina mencionaron que los valores de Coliformes totales no se encuentran directamente influenciados por las precipitaciones y que se relaciona con aportes variables de

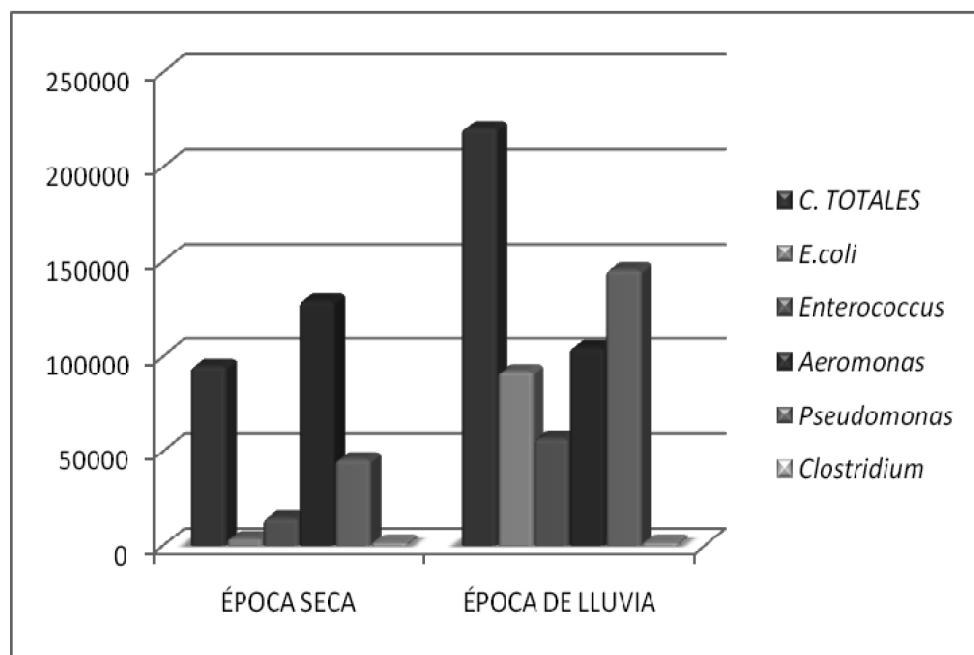


Figura 2. Promedio de recuentos bacterianos en UFC/100 mL 2010 humedal Jaboque.

fuentes de contaminación. En la bahía de Santa Marta se encontraron altos niveles de Coliformes totales en época de lluvia que se deben a las descargas de escorrentía (Ramos *et al.* 2008).

El incremento de UFC/100 mL de *Aeromonas* sp. en época seca, se puede relacionar con su fijación a las raíces de las plantas acuáticas de los humedales, ya que en esta época se incrementa la materia orgánica en el humedal. En estudios anteriores se encontraron correlaciones significativas entre las *Aeromonas*, los Coliformes totales y la concentración de materia orgánica, medida como demanda biológica de oxígeno DBO (Araujo *et al.* 1989). Rippey & Cabelli (1989) y Canosa (1999) propusieron una evaluación del grado de eutrofización basado en la densidad de *Aeromonas*. Según esta evaluación en el humedal de Jaboque, los resultados del recuento promedio durante las dos épocas del muestreo del año 2010, permiten clasificar este cuerpo de agua como eutrófico, en contraste con el estudio anterior en el cual se presentaron mayores recuentos que clasificaron al humedal como hipereutrófico (Ávila *et al.* 2006). Esta afirmación coincide con el trabajo realizado por Álvarez (2005) quien analizó las características físicas y químicas y la comunidad planctónica, y determinó que por la cantidad de nutrientes (nitrógeno, fósforo) y la concentración de clorofila el humedal Jaboque se encontraba en condiciones hipereutróficas.

Los recuentos más bajos para todos los indicadores microbiológicos se presentaron en el tercio bajo del humedal, el recuento promedio de *Aeromonas* en este sector fue de 13000 UFC/100 mL y según estos valores se clasifica como mesotrófico, estos resultados concuerdan con lo mencionado por Beltrán *et al.* (2013) quienes mencionaron un valor del índice de estado trófico para esta zona de 19,5 mg/m³ (mesotrófica) y un tiempo de retención hidráulica de 40 días/año, con lo que se concluye que en el tercio bajo las condiciones físicas y biológicas se asocian directamente con su función depuradora en el humedal y por lo tanto mantener esta condición sería la situación más apropiada para el humedal.

La presencia de UFC/100mL de *Clostridium* en el agua superficial de humedal de Jaboque se debe a la presencia de heces del hombre y animales de sangre caliente (Figuera *et al.* 2000). La presencia de este microorganismo se correlaciona con el coprostanol, esterol fecal encontrado en heces humanas (Cheryl *et al.* 1995). En relación con el efecto que se ha producido por la construcción del interceptor ENCOR y otras acciones desarrolladas sobre la calidad bacteriológica del agua del Humedal de Jaboque, se observa que comparando el estudio realizado en el año 2006 frente a los resultados obtenidos en el año 2010, los coliformes totales, *Enterococcus*, *Aeromonas*, *Pseudomonas* y *Clostridium* disminuyeron tanto en época seca (Tabla 2) como en época de lluvias (Tabla 3).

Tabla 1. Recuentos (UFC/100 mL) promedio de los indicadores bacterianos durante la época seca (marzo) y de lluvia (mayo) 2010.

Época	C. totales	<i>E. coli</i>	<i>Enterococcus</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Clostridium</i>
Seca	95076	3846	14846	129173	45653	1365
Lluvia	220404	92115	56885	104615	145769	1385

Tabla 2. Promedio de los recuentos (UFC/100mL) obtenidos durante la época seca de los años 2004-2005 y 2010.

Años	C. totales	<i>Enterococcus</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Clostridium</i>
2004-2005	226600	16826	197984	145315	48875
2010	95076	14846	129173	45653	1365

Tabla 3. Promedio de los recuentos (UFC/100mL) obtenidos durante la época de lluvia de los años 2004-2005 y 2010.

Años	C. totales	Enterococcus	Aeromonas	Pseudomonas	Clostridium
2004-2005	220404	67762	220651	225162	7848
2010	124970	56885	104615	145769	1385

CONCLUSIONES

El promedio de coliformes totales y *Escherichia coli* en los puntos de muestreo durante las épocas seca y de lluvias muestran que el agua del Humedal de Jaboque, sobrepasa los límites permisibles establecidos para el agua de uso recreativo, lo que indica que estas aguas no pueden ser utilizadas para tal fin.

El género *Aeromonas* presentó recuentos en UFC/100 mL en todos los puntos de muestreo, tanto en época seca como de lluvia; el promedio de recuentos indica que hubo más presencia en época seca, ya que su proliferación y fijación a las raíces de las plantas acuáticas aumenta con temperaturas superiores a los 20°C.

Los promedios de los recuentos en UFC/100 mL de Coliformes totales, *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp. y *Pseudomonas* presentaron un aumento significativo en época de lluvia debido al incremento de las precipitaciones y con ello el ascenso del nivel del agua en el humedal ocasionado por las aguas de escorrentía y las descargas del río Bogotá.

El género *Clostridium* no presentó recuentos en UFC/100mL en época seca ni en época de lluvia en los puntos de muestreo J1, J6, J9 y J13 y los recuentos en UFC/100mL obtenidos en los otros puntos no presentan diferencias significativas, ya que son zonas poco contaminadas y con movimiento continuo del agua lo cual impide que se genere un medio anaerobio. Sin embargo, hay que tener en cuenta que estos microorganismos son indicadores de contaminación fecal antigua.

Todos los indicadores bacteriológicos fueron menores, tanto en época seca como en época lluvia, comparados con el estudio del año 2005 y el estado trófico del humedal (según los recuentos de *Aeromonas*) pasó de hipereutrófico a eutrófico.

El tercio bajo del humedal es el que presenta menores recuentos y menor nivel de trofia, por lo tanto se deduce que esta sección desempeña una función depuradora que permite amortiguar el impacto de la contaminación de este cuerpo de agua y sería ideal que estas condiciones se mantuvieran en todo el humedal.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca por el apoyo recibido. Al grupo de Biodiversidad y Conservación del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia por la colaboración para desarrollar el trabajo del año 2005.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, J. 2005. Evaluación del estado trófico del humedal de Jaboque: Análisis espacial y temporal de las características fisicoquímicas del agua y de la comunidad planctónica. En: J.O. Rangel-Ch. (Compilador). Investigación aplicada en restauración ecológica en el humedal de Jaboque. Convenio Acueducto de Bogotá-Universidad Nacional de Colombia, Informe final. p. 215-235. Bogotá D.C.
- ANDREU, E. & A. CAMACHO. 2002. Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar. Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.

- Secretaría General del Medio Ambiente. 226 p. Madrid. España.
- ÁVILA, S., M. PULIDO, S. ESTUPIÑÁN-TORRES & A. PRIETO. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova* 10: 69-79.
- ÁVILA, S. & S. ESTUPIÑÁN. 2006. Calidad bacteriológica del agua del Humedal de Jaboque, Bogotá, Colombia. *Caldasia* 28(1): 67-78.
- BELTRÁN, J. & J.O. RANGEL. 2013. Modelación del estado trófico del humedal de Jaboque, Bogotá D. C., Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 18(1): 149-163.
- BELTRÁN, J. & J.O. RANGEL. 2013. Modelación hidrológica del humedal de Jaboque – Bogotá, D.C. (Colombia) *Caldasia* 35(1):81-101.
- CABALLERO, Y., E. HOOKER, E. CASTILLO & R. DAVILA. 2007. Potencial Hidrológico y calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Ochomogo. Trabajo final de grado. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. pp. 138. Nicaragua. Disponible en: <http://www.cira-unan.edu.ni/media/documentos/YCaballero.pdf>
- CHERYL, M.D., J.A.H LONG, M. DONALD & N.J. ASHBOLT. 1995. Survival of Fecal Microorganisms in Marine and Freshwater Sediments. *Applied and Environmental Microbiology* 61(5): 1888-1896.
- CLARKE, K.R. & R.M. WARWICK. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environmental Research Council, Plymouth Marine Laboratory. 144 p. Plymouth. Inglaterra.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. 2002. Standing Committee of Analysts, The Microbiology of Drinking Water - Part 1 - Water Quality and Public Health, Methods for the Examination of Waters and Associated Materials. Environment Agency. United States. 47 p. Washington D.C.
- FIGUERAS, M.J., J.J. BORREGO, E.B. PIKE, W. ROBERTSON & N. ASHBOLT. 2000. Chapter 8: Sanitary inspection and microbiological water quality: 136-154. In: *Monitoring Bathing Waters - A Practical Guide to the Design and Implementation of Assessments and Monitoring Programmes*. Ed. Jamie Bartram and Gareth Rees. World Health Organization (WHO). Nueva York y Londres.
- MARIN, B., G. RAMIREZ, B. CADAVÍD, J. ACOSTA, J. GARAY & W. TRONCOSO. 2001. Variaciones Espacio Temporales de los principales Indicadores Ambientales tomados en una Laguna Costera Tropical (Ciénaga Grande de Santa Marta). En: *Resúmenes IX Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar*-COLACMAR, San Andrés, Colombia.
- PÉREZ, J., A. ZAMORA, A. FOLABELLA, F. ISLA & A. ESCALANTE. 2006. Situación sanitaria de la zona balnearia de la ciudad del Mar de la Plata, Argentina. 1º Congreso internacional del agua. Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.cira-unan.edu.ni/media/documentos/YCaballero.pdf>
- RAMOS, L., L. VIDAL, S. VILARDY & L. SAAVEDRA. 2008. Análisis de contaminación microbiológica (Coliformes totales y Fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Acta Biológica Colombiana* 13 (3): 87-98.
- RHEINHEIMER, G. 1987. *Microbiología de las aguas*: 233-253. Editorial Acribia S.A, Zaragoza, España.
- ROMERO, A. 2002. Calidad del agua: 165-183. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá D.C.

Recibido: 26/07/2012

Aceptado: 24/10/2014