

## Capítulo 20

# INDICADORES DE CONTAMINACION FECAL EN AGUAS

### Resumen

El crecimiento de la población a nivel mundial y el aumento del uso del agua para diferentes actividades, ha incrementado los niveles de contaminación. Esta contaminación está relacionada con los vertidos de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal. Estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población. El control de la calidad microbiológica del agua de consumo y de vertido, requiere una serie de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos. El diagnóstico de estos microorganismos, requiere laboratorios especializados y representa varios días de análisis y costos elevados. Como alternativa a estos inconvenientes, se ha propuesto el uso de indicadores microbianos que se puedan identificar mediante el uso de métodos sencillos, rápidos y económicos. Este trabajo hace una revisión de los principales indicadores de contaminación fecal y su significado en la evaluación de la calidad del agua.

**Palabras Clave:** Calidad, contaminación, indicadores, riesgo.

El control de los parámetros físico-químicos y microbiológicos es muy importante tanto en los sistemas de potabilización como de depuración del agua. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre o es reutilizada, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a agentes biológicos que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus entéricos (Asano y Levine, 1998).

Desde el punto de vista de la salud pública, los virus entéricos son el grupo de organismos patógenos más críticos, debido a que la dosis mínima infecciosa es muy baja, son muy resistentes a los sistemas de desinfección y el control a nivel de laboratorio es costoso (Ayres y Wescot, 1987; Wescot y Ayres, 1990).

Es importante anotar que además de los patógenos que tradicionalmente se encuentran en el agua y que son causantes de las enfermedades de origen hídrico, cada vez es más frecuente que estas enfermedades estén relacionadas con la presencia de microorganismos emergentes y reemergentes.

Las enfermedades emergentes son aquellas cuya incidencia en los seres humanos ha aumentado en las dos últimas décadas (dengue, cólera, resistencia microbiana). Las enfermedades reemergentes son las que reaparecen después de una disminución significativa en su incidencia (malaria, tuberculosis, peste).

El aumento de este tipo de microorganismos está relacionado con cambios dramáticos en el ambiente y en la población incrementados por los procesos de urbanización, la expansión de la pobreza, la ocupación de regiones no habitadas anteriormente, las migraciones no controladas con gran número de refugiados y desplazados, la facilidad y rapidez en los desplazamientos y el movimiento creciente de animales y de productos de origen animal. A esto se suma que la resistencia a los agentes antimicrobianos continúa reduciendo la eficacia de los medicamentos incrementando los niveles de mortalidad y de costos sanitarios.

Este grupo de microorganismos no está limitado a ninguna región en el mundo ni se circunscribe a países en desarrollo o desarrollados; representa una amenaza general, que exige una respuesta coordinada de todos los servicios de salud de todos los países. Asimismo constituyen una carga financiera que obliga a gastos enormes para el control de brotes epidémicos y la atención médica y de salud pública.

El riesgo de contaminación tanto a nivel humano como ambiental hace necesario el control de la presencia de microorganismos en el agua. Determinar el tipo de microorganismos presentes y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad del agua y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas.

Existe un consenso general sobre la dificultad de determinar la presencia de todos los organismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental. Dicha determinación implica varios días de análisis, costos elevados y laboratorios especializados. Frente a estas dificultades y a la necesidad de hacer una evaluación rápida y fiable de la presencia de patógenos en el agua, se ha planteado la necesidad de trabajar con organismos indicadores (Campos, 1999).

Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos (concentración y reacción frente a factores ambientales y barreras artificiales), pero son más rápidos, económicos y fáciles de identificar. Una vez se ha evidenciado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador.

Un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal).
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

No existe ningún microorganismo que reúna todos los criterios de un indicador ideal y apenas algunos grupos satisfacen algunos de estos requisitos. A continuación se describen los grupos patógenos y los microorganismos que se han propuesto como sus indicadores.

## Bacterias

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, se ha buscado un grupo alternativo de indicadores que sean de más rápida y fácil detección. El grupo más utilizado es el de las bacterias coliformes.

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana ya que los coliformes,

- Son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.
- Están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades.
- Permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas.
- Se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

Los coliformes fecales y *E. coli* en particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras.

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales

de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Otro de los aspectos negativos del uso de los coliformes totales como indicador es el hecho de que algunos coliformes son capaces de multiplicarse en el agua (Madigan y col., 1997).

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior.

La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. Algunos géneros son autóctonos de aguas con residuos vegetales, como hojas en descomposición. También pueden reproducirse en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable. Por estas razones y por la existencia de bacterias que responden a la definición de coliformes que no son de origen fecal y que incluso pueden ser lactosa-negativas (apareciendo como positivas si se aplica la prueba de B-galactosidasa), el grupo de los coliformes totales tiene actualmente poca utilidad como indicador de contaminación fecal.

Su uso se ha restringido para aguas tratadas y aguas minerales. Para aguas superficiales o para evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales deben usarse los coliformes fecales. Solamente deberá recurrirse a los coliformes totales si no hay condiciones para cuantificar los coliformes fecales.

La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3 coliformes. Esta contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectas en días consecutivos.

En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como un alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución.

Los *Streptococcus fecales* (o estreptococos del grupo “D” de Lancefield) son bacterias integrantes de la flora normal de los animales homeotérmicos. Actualmente se considera que los estreptococos fecales pertenecen a dos géneros: *Enterococcus* y *Streptococcus*.

Todos los *Enterococcus* presentan alta tolerancia a condiciones ambientales adversas (altas o bajas temperaturas, deshidratación, salinidad, luz solar, etc.).

El género *Streptococcus* reúne apenas dos especies ya existentes en la antigua clasificación: *S. bovis* y *S. equinus*, que son más abundantes en heces animales.

De manera similar a los coliformes fecales y a *E. coli*, presentan tasas de supervivencia semejantes a la de los patógenos entéricos. Los Estreptococos fecales no se multiplican en el medio ambiente, o si esto ocurre es solamente en raras ocasiones. Son más persistentes en ambientes acuáticos y en suelos contaminados que *E. coli*. Son importantes en situaciones donde se sabe que hay contaminación fecal y no se detectan coliformes, como ocurre cuando las descargas son intermitentes o más antiguas, de modo que mueren los coliformes fecales y *E. coli*, y permanecen los estreptococos.

*Clostridium perfringens* es de origen fecal y no es patógeno en el intestino de animales homeotérmicos. No es exclusivamente fecal se encuentra en suelos y aguas contaminadas. Por ser una bacteria esporulada tolera elevadas temperaturas y desecación, pH extremos y falta de nutrientes, entre otras condiciones adversas. Esta resistencia elevada la convierte en un indicador apropiado de contaminación fecal antigua, intermitente, también cuando las descargas domésticas se mezclan con las industriales que tienen un pH extremo que mata a las bacterias no esporuladas, o cuando hay altas temperaturas que también eliminan las formas vegetativas de las bacterias. Es de gran utilidad cuando los coliformes están ausentes, pues indicará contaminación fecal antigua. Por otro lado, esa misma resistencia elevada limita su uso: no puede ser aplicado como indicador de la eficiencia de tratamientos de aguas residuales, pues estará presente en los efluentes después de la eliminación de los patógenos. O sea que su número no reflejará el verdadero grado de contaminación fecal.

Es un buen indicador de la eficiencia del tratamiento de aguas manantiales. Cuando está presente en el agua potabilizada y desinfectada indica fallas en el tratamiento o en la desinfección. Su presencia en aguas cloradas se asocia con deficiencias en la filtración. Debido a su alta resistencia las esporas pueden indicar, de forma indirecta, la presencia de quistes de protozoarios (Rolim, 2000).

## Virus

En contraste con las bacterias, los virus no se encuentran normalmente en las heces del hombre. Están presentes solamente en el tracto gastrointestinal de individuos que han sido afectados.

Más de 140 virus patógenos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua. Estos son los virus entéricos eliminados a través de las heces de personas infectadas. Los más comunes son los virus causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis. Algunos de estos virus (rotavirus, virus Norwalk) no generan una protección inmunitaria a largo plazo por lo que la infección puede repetirse varias veces a lo largo de la vida.

Acerca de los virus se sabe que, aún en bajas concentraciones, tienen la capacidad de causar infección o enfermedad. Algunos virus son más resistentes a la desinfección que los organismos coliformes, por lo que los indicadores tradicionales de contaminación bacteriana no evalúan de manera eficiente la presencia o ausencia de virus en el agua.

El poliovirus ha sido propuesto como indicador viral. Sin embargo, las cantidades de este virus encontradas en ambientes acuáticos son demasiado variables como para que sea considerado un buen indicador. Además de estas variaciones, la detección de virus entéricos requiere laboratorios especializados y los resultados tardan varios días. Estas dificultades en el uso de los enterovirus como indicadores de contaminación de origen fecal en el agua, ha llevado a la búsqueda de indicadores alternativos que sean de rápida y fácil detección y que permitan prever el comportamiento de los enterovirus en el medio ambiente. Estos indicadores son los fagos (Schwartzbrod, 1995).

Se han propuesto dos tipos de fagos: colifagos somáticos y colifagos F específicos. Los argumentos que validan la propuesta son:

- Los fagos se encuentran abundantemente en agua residual y agua contaminada.
- Las poblaciones de colifagos son mucho más grandes que las de los enterovirus.
- Los colifagos son incapaces de reproducirse fuera del huésped bacteriano.
- Los colifagos se pueden aislar y contar usando métodos sencillos.
- Se obtienen resultados más rápidos cuando se analizan los colifagos que cuando se trabaja con enterovirus.
- Ciertos colifagos son tan resistentes como los enterovirus a los procesos de desinfección.

Los colifagos se relacionan directamente con su huésped bacteriano específico *E. coli*. Cuando las condiciones ambientales son desfavorables, los coliformes fecales no son buenos indicadores de contaminación fecal, ya que desaparecen rápidamente. Por consiguiente es mejor usar microorganismos más resistentes, como los colifagos que reflejan mucho mejor los niveles de *Salmonella* (Kott y cols., 1978; Borrego y cols., 1987; Yates, 1992).

Los coliformes están presentes en números bajos en las heces humanas y de animales homeotérmicos, pero están en número elevado en aguas residuales. Invariablemente estarán en aguas que contienen *E. coli* y por tanto serán indicadores de contaminación fecal. Por ser más resistentes a las factores ambientales y a la cloración que los coliformes y que todas las bacterias en general, su presencia en plantas potabilizadoras indican fallas en algún paso del tratamiento, en especial en la cloración.

El tercer grupo propuesto, son los fagos que infectan *Bacteroides fragilis*. Este grupo presenta la ventaja de no replicar en ambientes naturales, dado que infectan una cepa anaerobia y su multiplicación se realiza solo bajo estas condiciones. Por otro lado su aislamiento se realiza en la mayoría de los casos en heces humanas.

## Parásitos

Los parásitos que son patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos. Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por medio de los sistemas de tratamiento convencional de agua residual.

Los huevos de helminto son un grupo de organismos que incluye los nemátodos, tremátodos y cestodos. Las características epidemiológicas que hacen de los helmintos patógenos entéricos causantes de infección por contacto con agua contaminada, son su alta persistencia en el medio ambiente, la mínima dosis infecciosa, la baja respuesta inmune y la capacidad de permanecer en el suelo por largos periodos de tiempo.

El estudio de los huevos de helminto a nivel ambiental ha hecho necesaria la selección de un parásito indicador debido a las limitaciones en la detección a nivel de laboratorio. *Ascaris lumbricoides* se ha sugerido como un buen indicador del comportamiento de los huevos de helminto. Sus ventajas son:

- Persiste en el medio ambiente por muchos meses, pero no se multiplica.
- Se puede identificar fácilmente.
- El índice de parasitismo a nivel mundial es muy alto.
- El riesgo de transmisión es alto, debido a la elevada concentración de huevos que se puede encontrar.

Tampoco hay que olvidar que en los últimos años se ha dado gran importancia a la contaminación por *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*. Estos protozoos se consideran patógenos emergentes y la investigación, en el caso de la contaminación de aguas, se ha orientado básicamente a la detección a nivel de laboratorio y al estudio de procesos de desinfección que garanticen la eliminación de este tipo de quistes.

Desde 1981, los protozoos entéricos son reconocidos como causantes de brotes infecciosos transmitidos por el agua. Los protozoos más conocidos en las heces humanas son : *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolítica* y *Balantidium coli*. Más reciente han sido aisladas cepas de *Cryptosporidium*.

La *Giardia lamblia* es un protozoo que se presenta trofozoito (forma flagelada) cuando está dentro del hombre. La forma infectiva es el quiste, que es eliminado con las heces de la persona enferma. Este quiste penetra por la boca e infecta el intestino delgado, y allí se transforma en trofozoito. Los quistes de giardias y otros protozoos tienen una gruesa pared que los protege de las condiciones ambientales adversas, y los hace resistentes por varias semanas o meses.

La criptosporidiasis humana fue descrita por primera vez en 1974 y el primer brote de origen hídrico se registró en 1984. Investigaciones recientes indican que este organismo ocupa el tercer lugar en importancia mundial entre todos los enteropatógenos de transmisión hídrica.

### Patógenos emergentes

A continuación se citan algunos ejemplos de microorganismos emergentes.

#### *Cianobacterias*

Estos organismos llamados tradicionalmente algas verdes-azuladas, son bacterias que se parecen a las algas porque tienen clorofila "a" y, por tanto, realizan fotosíntesis con producción de oxígeno molecular. No actúan como agentes infecciosos, pero algunas especies producen toxinas que afectan el intestino (gastroenteritis), el sistema nervioso y el hígado. Otras menos tóxicas causan irritación en la piel y alergias.

#### *Campilobacter*

Especies del género *Campilobacter* se consideran causa importante de gastroenteritis aguda transmitidas por aguas o alimentos contaminados. Su dosis infectiva es baja y los datos epidemiológicos muestran una incidencia similar a la de patógenos como *Salmonella*.

### *Yersinia enterocolitica*

Sólo algunas cepas de *Y. enterocolitica* poseen factores de virulencia y son patógenas para el humano, causando infecciones gastrointestinales. La ruta de infección es a través de alimentos y agua. Rara vez han sido aisladas de agua potable y su presencia indica contaminación fecal.

### Conclusiones

- Los altos niveles de contaminación de origen fecal hacen necesario un estricto control de la calidad microbiológica del agua.
- La evaluación de la calidad del agua se puede realizar a través de indicadores de contaminación fecal que presentan un comportamiento similar a los patógenos y que son fáciles rápidos y económicos de identificar.
- Es necesario tener en cuenta dentro de los microorganismos que representan un riesgo sanitario por el consumo de aguas y alimentos contaminados, los microorganismos emergente y reemergentes.
- Es urgente revisar la legislación existente para el control microbiológico del agua, ya que el uso de indicadores tradicionales como coliformes totales y fecales no garantiza la ausencia de virus y parásitos.

### Bibliografía

- ASANO, T. AND LEVINE, D. (1998). "Wastewater reclamation, recycling and reuse: an introduction. In wastewater reclamation and reuse". Takashi Asano (editor), Technomic Publishing. Lancaster. 1528 pags.
- AYRES, R. Y WESCOT, D. (1987). "La calidad del agua en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación". Estudio FAO Riego y Drenaje, N° 29. Roma. p 8-101.
- BORREGO, J.; MORIÑO, M.; DE VICENTE, A.; CÓNAX, R. AND ROMERO, P. (1987). "Coliphages as an indicator of faecal pollution in water. Its relationship with indicator and pathogenic microorganisms". *Water Research*. 21, 1473-1480.
- CAMPOS, C. (1999). "Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola". Tesis doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. 250 pp.
- HESPANHOL, I. AND PROST, M. (1994). "WHO guidelines and national standards for reuse and water quality". *Waert Research*. 28, 119-124.
- KOTT, Y.; BEN ARI, H. AND VINOUR, L. (1978). "Coliphages survival as viral indicator in various wastewater quality effluents". *Pro Wat Tech*. 10, 337-346.
- MADIGAN, M.; MARTINKU, J. Y PARKER, J. (1997). "Biología de los microorganismos". Prentice Hall. Madrid. Octava edición. 986 págs.
- ROLIM, S. (2000). "Sistemas de lagunas de estabilización". Mc Graw Hill. Bogotá. Primera edición. 370 págs.
- SCHWARTZBROD, L (1995). "Effect of human viruses on public health associated with the use of wastewater and sludge in agriculture an aquaculture". WHO Collaboration Centre for Microorganisms in wastewater. Université de Nancy. World Health Organization. Geneva. 178 pags.
- SZEWZYK, U.; SZEWZYK, W.; MANZ, W. AND SHLEIFER, H. (2000). Microbiological safety of drinking water. *Annual Review Microbiology*. 54, 81-127.
- WESCOTT, D. Y AYRES, R. (1990). "Criterio de calidad de aguas de riego", en riego con agua residual municipal regenerada. Asano, T. Editado por Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. p 33-66.
- YATES, M. (1992). "Biomonitoring of environmental contamination". *Encyclopedia of Microbiology*. Volume 1. Academic Press, Inc New York. p 321-330.