

Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua.

Mireya del Pilar Arcos Pulido¹, Sara Lilia Ávila de Navia, Msc.², Sandra Mónica Estupiñán Torres MSc.², Aura Cristina Gómez Prieto¹.

¹División de Investigaciones, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
²Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
Correspondencia: sestupinant59@unicolmayor.edu.co

Recibido:15-11-05 Aceptado:12-12-05

Resumen

El crecimiento de la población a nivel mundial ha incrementado los niveles de contaminación. Esta contaminación está relacionada con el vertido de agua de desecho 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. El control de la calidad microbiológica del agua de consumo y de desecho, requiere de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos; los agentes involucrados en la transmisión hídrica son las bacterias, virus y protozoos, que pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde gastroenteritis simple hasta casos fatales de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. 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.

El diagnóstico y posterior recuperación de las fuentes de agua naturales contaminadas, debe hacerse además, teniendo en cuenta las implicaciones que en términos ecológicos y sanitarios representa la degradación del recurso. En este sentido, las microalgas perifíticas se constituyen como buenos indicadores del estado trófico de los ecosistemas y responden a los disturbios ocurridos modificando su estructura en cuanto a composición y abundancia se refiere. Este trabajo hace una revisión de los principales bioindicadores de contaminación y su significado en la evaluación de la calidad del agua.

Palabras clave: bioindicadores, ecosistemas acuáticos, contaminación, calidad de aguas.

Abstract

Microbiological indicators of contamination of the water sources. The growth of the population on a global scale has increased the levels of contamination. This contamination is related to the spilt one of water of waste of domestic and industrial origin to the water bodies. In case of the residues of domestic origin, the load pollutant is represented by high percentages of organic matter and microorganisms of fecal origin. The control of the microbiological quality of the water of consumption and of waste, needs from analysis directed to determining the presence of pathogenic microorganisms, the agents involved in the water transmission are the bacteria, virus and protozoan, they can cause illnesses at different levels of gravity, from a simple gastroenteritis up to fatal cases of diarrhoea, dysentery, hepatitis or fever typhoid. The diagnosis of these

microorganisms, it needs specializing laboratories and represents several days of analysis and high costs. As alternative to these disadvantages, the use of microbial indicators has been proposed that could identify by means of the use of simple, rapid and economic methods.

The diagnosis and later recovery of the natural sources of water contaminated, it must do also, bearing in mind the implications that in terms of ecological and sanitary the degradation of the resource represents. In this sense, the periphytic microalga is constituted as good indicators of the state trophic of the ecosystems and answers to the disturbances happened modifying his structure as for composition and plenty refers. This work does a review of the principal bioindicators of contamination and his meaning in the evaluation of the quality of the water.

Key words: bioindicators, aquatic ecosystems, contamination, water quality.

Introducción

El agua, además de ser una sustancia imprescindible para la vida, por sus múltiples propiedades, es ampliamente utilizada en actividades diarias tales como la agricultura (70% al 80%), la industria (20%), el uso doméstico (6%), entre otras, convirtiéndose en uno de los recursos más apreciados en el planeta. De ahí la importancia de conservar y mantener la calidad de las fuentes naturales, de manera que se garantice su sostenibilidad y aprovechamiento para las futuras generaciones (1).

La eutrofización es un proceso natural en los ecosistemas acuáticos, producido por el enriquecimiento del cuerpo de agua con nutrientes (2), durante los últimos 200 años el hombre ha acelerado estos procesos de eutrofización modificando tanto la calidad de las aguas, como la estructura de las comunidades biológicas debido al aumento en la carga orgánica e inorgánica de los cuerpos de agua (3). La eutrofización reduce considerablemente los usos potenciales que tienen los recursos hídricos puesto que induce a la mortalidad de especies animales, la descomposición del agua y el crecimiento de microorganismos (bacterias) (2). Además, en muchas ocasiones los microorganismos se convierten en un riesgo para la salud humana, como es el caso de los agentes patógenos transmitidos por el agua, que constituyen un problema de salud mundial (4).

La contaminación fecal de las aguas superficiales que sirven como fuente de abastecimiento es uno de

los problemas más preocupantes en los países en vías de desarrollo, esta contaminación se debe al vertimiento de los desagües sin ningún tratamiento, hecho que es usual en las grandes ciudades. En las zonas rurales la contaminación se origina en la defecación a campo abierto y a la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorios de agentes patógenos.

El agua apta para consumo humano puede contaminarse cuando entra al sistema de distribución, a través de conexiones cruzadas, rotura de las tuberías del sistema de distribución, conexiones domiciliarias, cisternas y reservorios defectuosos, grifos dañados y durante el tendido de nuevas tuberías o reparaciones realizadas sin las mínimas medidas de seguridad (4, 5, 6). De igual manera, la construcción defectuosa en las estructuras de pozos o depósitos y ausencia o irregular mantenimiento de estas instalaciones son causas que predisponen el ingreso y multiplicación de microorganismos a partir de distintas fuentes. Además, existen otros factores que permiten el desarrollo de microorganismos en el agua dentro de los sistemas de distribución y almacenamiento como: cantidad y tipo de nutrientes, oxígeno, temperatura, pH, concentración de desinfectante y material de las tuberías (7).

Los agentes patógenos implicados en la transmisión hídrica de enfermedades son las bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias. Estos microorganismos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple

hasta cuadros graves de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. La transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden ser transmitidos a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos, de animales al hombre, entre otras rutas (8).

Es importante destacar que cada vez es más frecuente que las enfermedades de origen hídrico, 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. Las enfermedades reemergentes son las que reaparecen después de una disminución significativa en su incidencia; malaria, tuberculosis, peste (9, 10). El aumento de este tipo de microorganismos está relacionado con cambios drásticos en el ambiente y en la población aumentados 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 (11). 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 (12, 13). 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 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 (14).

Determinar el tipo de microorganismos presentes en el agua y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad de la misma y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de

ecosistemas, evitando así el riesgo de contaminación de las personas y el ambiente.

No obstante, existe una gran dificultad para determinar la presencia de todos los microorganismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental. Dicha determinación implica costos elevados, tiempo, 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 determinados grupos indicadores (15). Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, concentración y reacción frente a factores ambientales, pero son más fáciles, rápidos y económicos de identificar. Una vez se ha demostrado 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 (15).

Un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características (16):

- 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.

La detección de cambios en los ecosistemas acuáticos específicamente a partir de las comunidades algales, en la actualidad es ampliamente utilizado y constituyen un mecanismo confiable (17) y de bajo costo debido a que no requiere de equipos muy sofisticados (18) para evaluar las alteraciones en los sistemas (17), puesto que los organismos reflejan los cambios que se han presentado en un recurso hídrico (18) a diferencia de los parámetros físico-químicos que solo muestran las situaciones puntuales del momento de la muestra (17).

La presencia y abundancia de determinados grupos, como puede ser el caso de las microalgas perifíticas permite determinar el estado trófico de un cuerpo de agua, dilucidar las posibles causas a las que se atribuyen su estado actual, posteriores problemas y aproximarse al uso potencial del recurso.

A continuación se describen algunos grupos recomendados como indicadores de la calidad del agua en un ecosistema acuático importantes para su valoración en términos sanitarios y ecosistémicos:

Bacterias

Las bacterias que se encuentran más frecuentemente 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 lo tanto 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 usado el grupo de las bacterias coliformes como indicadores, ya que su detección es más rápida y sencilla (19, 20-22).

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a que estos 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 y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

Los microorganismos que conforman el grupo de los coliformes totales; *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter*, viven como saprófitos independientes o como bacterias intestinales; los coliformes fecales (*Escherichia*) son de origen intestinal (23). Todos pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes, fermentadores de lactosa con producción de gas; constituyen aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales (8), las bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir en el medio acuático, están sometidas a un estrés fisiológico y pierden gradualmente la capacidad de producir colonias en medios diferenciales y selectivos. Su velocidad de mortalidad depende de la temperatura del agua, los efectos de la luz solar, las poblaciones de otras bacterias presentes, y la composición química del agua. La presencia de coliformes en el agua indica la contaminación bacteriana reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua. (16)

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. (8)

Estas bacterias son de interés clínico, ya que pueden ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto respiratorio superior e inferior, además de bacteremia, infecciones de piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas en el ser humano (24).

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 recolectadas 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 (25).

Los *Streptococos* fecales, actualizados taxonómicamente como *Enterococcus* incluyen un número de especies que se encuentran en las heces de los humanos y animales de sangre caliente. Esto es muy importante, ya que la contaminación fecal causada por animales puede involucrar riesgos sanitarios, por lo que hay que tener en cuenta los microorganismos más abundantes y frecuentes en las heces de los animales, sobre todo en los de producción; vaca, cerdo, oveja, caballo, gallina y pato. En todos ellos se encuentran coliformes y *Streptococos* fecales, aunque son más abundantes los *estreptococos* fecales (16) (Tabla 1).

Los *Streptococos* 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* (26).

Las especies de *Enterococcus* que están presentes en las heces y que se encuentran en aguas contaminadas pueden ser divididas en dos grupos: en el primer grupo se encuentran *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium* y *Enterococcus durans*, es-

Tabla 1. Densidad/gramo de coliformes y *estreptococos* fecales en las heces de animales y hombre

Grupo	Coliformes fecales	<i>Streptococos</i> fecales	CF/EF
Vaca	230.000	1.300.000	0.18
Cerdo	3.300.000	84.000.000	0.04
Oveja	16.000.000	38.000.000	0.42
Pollo	1.300.000	3.400.000	0.38
Pavo	290.000	2.800.000	0.10
Gato	7.900.000	27.000.000	0.29
Perro	23.000.000	980.000.000	0.02
Ratón	330.000	7.700.000	0.04
Conejo	20	47.000	0.00
Hombre	13.000.000	3.000.000	4.33

tos organismos están normalmente presentes en las heces de humanos y animales, el segundo grupo incluye *Streptococcus bovis*, *Streptococcus equinus* y *Enterococcus avium*, estos organismos no se encuentran comúnmente en las heces humanas. La identificación de la especie puede ser un mejor indicativo de la fuente de contaminación (27).

El uso de *Enterococcus* como un indicador de contaminación fecal de aguas recreacionales fue recomendado por la U.S. Environmental Protection Agency en 1986 (28). La recomendación se basó en estudios que demostraron que los *Enterococcus* tienen una relación directa con las enfermedades asociadas a la natación en ambientes de agua marina y agua dulce.

Los *Clostridium* sulfito reductores, por ser productores de esporas, tienen una mayor resistencia a las condiciones ambientales y a la desinfección por lo que se utilizan como indicadores de contaminación fecal antigua (29). El número de *Clostridium* en agua es mucho menor que el de Coliformes y *Streptococcus*, por esto no sustituyen a los anteriores, no obstante en aguas carentes de coliformes y *Streptococcus* informan sobre la posibilidad de contaminaciones no recientes (29).

Clostridium perfringens es de origen fecal y no es patógeno en el intestino de los 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, falta de nutrientes, entre otras condiciones adversas. Cuando está presente en el agua potabilizada y desinfectada indica fallos en el tratamiento o en la desinfección. Su presencia en aguas cloradas se asocia con deficiencias en la filtración. (29). Debido a su alta resistencia las esporas pueden indicar, de forma indirecta, la presencia de quistes de protozoarios (30).

Las *Pseudomonas* son bacilos Gram-negativos no esporulados, de unos 3 x 0.5µm, presentan flagelos polares para su locomoción que pueden producir un pigmento fluorescente, son oxidasa positivo, utilizan la glucosa oxidativamente y no forman gas. Se hallan comúnmente en el suelo y en el agua y algunas especies son clasificadas como patógenos y patógenos oportunistas, para el hombre y los animales. Algunas de las especies mas importantes son: *P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P.putida*, *P. maltophila*, *P. stutzeri* (31).

P. aeruginosa es una bacteria que no se considera autóctona del agua, puede derivar de heces humanas y animales, su detección en agua se asocia con polución por descarga de aguas residuales, por lo tanto hay una estrecha correlación de su presencia en ambientes acuáticos con fenómenos de contaminación (32). Este microorganismo crece en muy baja concentración de nutrientes en medio ambiente acuoso y puede sobrevivir durante muchos meses en aguas a temperatura ambiente, es un importante patógeno oportunista y es causa de un amplio rango de infecciones, especialmente de oídos, ojos y piel, su control en aguas destinadas a la recreación es una obligación en varios países del mundo (24).

Las *Aeromonas* son pequeños bacilos Gram-negativos que se mueven mediante flagelos polares. Son catalasa y oxidasa positivas, fermentan los carbohidratos, pueden producir gas en la glucosa, licuan la gelatina y reducen los nitratos (31).

Las especies de *Aeromonas* son miembros de la familia Aeromonadaceae, el género incluye varias

especies entre las que están las mesofílicas y móviles *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas caviae*, *Aeromonas sobria*, *Aeromonas veronii* y *Aeromonas schubertii* asociadas a infecciones en los humanos (33), *Aeromonas popoffii* (34), la no móvil y psicrófila *Aeromona salmonicida* patógena de peces y anfibios (35). Estos microorganismos son habitantes normales de fuentes de agua y pueden estar presentes en un alto número en agua fresca en presencia o ausencia de contaminación fecal. Es frecuente encontrar altos recuentos en aguas de desecho, pero se encuentran especies diferentes a las que están presentes en agua dulce. Las *Aeromonas* crecen en un medio ambiente con baja cantidad de nutrientes, algunos estudios han encontrado una significativa correlación entre la presencia de *Aeromonas* y el estado trófico de las aguas dulces (36).

La evidencia disponible indica que las personas no son infectadas por *Aeromonas* entéricas y que estas pueden ser parte de la flora normal del intestino, existen diversas variables como la edad, la inmunodeficiencia, la dosis infectiva, la enfermedad subyacente y la expresión de los factores de virulencia para que *Aeromonas spp.* cause la enfermedad (37).

Estas bacterias normalmente se han aislado de los pacientes con gastroenteritis, las *Aeromonas* asociadas con diarrea son normalmente limitadas y en muchos casos no se recurre a estudio microbiológico de las heces, esta falta de investigación podría explicar por que se han identificado relativamente pocos brotes (38), también se asocian con infecciones de ojos, heridas, tracto respiratorio, e infecciones sistémicas (33, 39); muchas de las cuales se producen por la contaminación de laceraciones y fracturas con las aguas ricas en *Aeromonas*.

Virus

A diferencia de las bacterias, los virus no se encuentran normalmente en las heces del hombre. Están presentes únicamente en el tracto gastrointestinal

de individuos que han sido afectados. Más de 140 virus patógenos entéricos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua, cuando son 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 inmunidad protectora a largo plazo por lo que la infección puede repetirse varias veces durante la vida (40).

El poliovirus ha sido propuesto como indicador viral (41), 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 demandan mucho tiempo.

Estas dificultades en el uso de los enterovirus como indicadores de contaminación, ha llevado a la búsqueda de indicadores alternativos que sean rápida y fácilmente detectables. Estos indicadores son los fagos (42). 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 tanto en agua residual como en agua contaminada.
- Las poblaciones de colifagos son mucho más grandes que las de los enterovirus.
- Los colifagos no pueden reproducirse fuera del huésped bacteriano.
- Los colifagos se pueden aislar y contar por métodos sencillos.
- Se obtienen resultados más rápidos cuando se analizan los colifagos.
- Algunos 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* (43, 44).

El tercer grupo propuesto, son los fagos que infectan *Bacteroides fragilis*, este grupo presenta la ventaja de no replicarse 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 (45).

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 (40).

Los huevos de helminto son un grupo de organismos que incluye los nemátodos, trematodos 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 (22).

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 (46), 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.

Tabla 2. Divisiones de microalgas y su proceso bioindicador

Grupos de las microalgas	Proceso bioindicador	Autor
<i>Euglenófitas</i>	*Alto contenido de materia orgánica	Pinilla (1998)
	*Estratificación	
	*Meso a oligotrofia	Wetzel (1981)
	*Alto contenido de materia orgánica	
<i>Clorófitas</i>	*Alto contenido de materia orgánica	Roldán (1992)
	*Eutrofia	Pinilla (1998)
	*Relación N/P alta	
	*Clorofitas desmidiáceas, están asociadas con aguas de alto contenido de materia orgánica	Wetzel (1981)
<i>Criptófitas</i>	*Luz relativamente baja	Wetzel (1981)
	*Aguas frías	
<i>Cianófitas</i>	*Aguas tropicales	Pinilla (1998)
	*Eutrofia	
<i>Bacillariófitas o Diatomeas</i>	*Eutrofia	Pinilla (1998)
	*Sucesión planctónica	
	*Relación N/P alta	
<i>Crisófitas</i>	*Oligotrofia	Pinilla (1998)
	*Algunas especies de Dinobryon tiene escasas necesidades de nutrientes y en particular del fósforo, en contraste con algunas otras especies que necesitan grandes concentraciones de este elemento.	Wetzel (1981)
	*Aguas pobre en nutrientes	Roldán (1992)
	*Estratificación	Pinilla (1998)
	*Sucesión fitoplanctónica	
<i>Pirrófitas (Dinoflagelados)</i>	*Oligotrofia	Wetzel (1981)
	*Aguas mineralizadas	
	*pH neutro o ligeramente alcalino	
	*La mayoría de los dinoflagelados son tolerantes al calcio, al pH, materia orgánica disuelta y temperatura.	

- El riesgo de transmisión es alto, debido a la elevada concentración de huevos que se puede encontrar.

En los últimos años ha ganado gran importancia la contaminación por *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*, estos protozoos se consideran patógenos emergentes y la investigación 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 (14).

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 recientemente han sido aisladas cepas de *Cryptosporidium*. 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 (14).

Perifiton

El término perifiton fue utilizado hasta hace un tiempo para designar a las algas que viven adheridas a las macrófitas acuáticas (47). En la actualidad el término perifiton se refiere a todas las comunidades de microorganismos animales y vegetales; algas, hongos, bacterias, protozoarios y animales que viven adheridas a sustratos vegetales, rocas o a cualquier tipo de material natural o artificial sumergido (48). El grupo más representativo de ésta comunidad son las microalgas. Las microalgas son organismos autótrofos fotosintéticos, producen su propio alimento; en su gran mayoría son unicelulares, forman filamentos o placas de células; pero cada individuo es independiente, no tiene movimiento o es muy limitado (49).

Las microalgas perifíticas representan una de las comunidades con mayor variabilidad espacial en términos de biomasa y composición (50), ninguna de la especies mantiene a lo largo del año un tamaño considerable de su población (51), en parte debido a que las perturbaciones en los ecosistemas modifican su estructura (52).

El perifiton se encuentra en todos los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, cobran mayor importancia en las quebradas y los ríos puesto que al haber corrientes, el establecimiento de otras comunidades como el plancton es muy bajo, constituyéndose en los principales productores primarios de estos ecosistemas y buenos indicadores de la eutrofización de las aguas (2). Sin embargo, resultan muy útiles también en el diagnóstico de sistemas lénticos.

Las comunidades perifíticas responden a ciertas condiciones para su distribución y abundancia, entre ellas se cuenta: las condiciones fisicoquímicas del agua y la red de drenaje de los sistemas (53), así como del tipo de sustrato, la hidrología, la desecación, el pastoreo, los gradientes, la concentración de nutrientes (54) y la luz (55).

Tabla 3. Estado trófico de las aguas de acuerdo a su índice de diversidad

<i>Calidad de aguas</i>	<i>Índice de Biodiversidad (bits de información)</i>
<i>Aguas muy contaminadas</i>	0.0 – 1.05
<i>Aguas medianamente contaminadas</i>	1.5 – 3.0
<i>Aguas muy limpias</i>	3.0 – 5.0

El perifiton en particular es un buen indicador, puesto que es sensible a los cambios y responde con rapidez a un amplio rango de tensores. Además, como esta comunidad permanece unida al sustrato, es testigo más confiable de los procesos ocurridos en el sistema que el plancton (56). Estas condiciones tan específicas permiten su utilización como indicadores de la alteración de las aguas (53). En la tabla 2, se presentan los principales procesos bioindicadores de los grupos de microalgas presentes en los cuerpos de agua.

Los índices matemáticos en el estudio de los microorganismos y de las comunidades animales y vegetales, son ampliamente utilizados. Para la descripción de la comunidad perifítica, en términos de número de especies y proporciones que puedan indicar cambios debido a modificaciones en las condiciones ambientales o procesos biológicos, se utiliza el índice de diversidad de Shannon y Weaver (57). Este índice es el más ventajoso por su fácil aplicación y su independencia del tamaño de la muestra, arrojando valores que van desde 0 hasta 5, donde 5 es la máxima diversidad. A continuación se presenta una clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo al índice de diversidad, Tabla 3 (48).

En ecosistemas de productividad media predominan las diatomeas, en aguas enriquecidas con sustancias orgánicas aumentan proporcionalmente la cantidad de cianófitas y de flagelados (51).

Finalmente, el detrimento de las fuentes naturales de agua dulce es un problema a escala mundial que afecta a las poblaciones humanas de forma directa. La degradación y contaminación de los ecosistemas acuáticos minimiza la potencialidad del uso de sus

aguas, la pérdida de la biodiversidad que estos albergan e incluso en algunos casos, se convierten en un riesgo para la salud de las poblaciones aledañas dadas las emergencias sanitarias que se presentan. Los esfuerzos necesarios para una adecuada evaluación y posterior recuperación de estos ambientes son mínimos comparados con los beneficios que representan en óptimas condiciones.

Referencias

- Organización de las Naciones Unidas (ONU), Departamento de Economía y Asuntos Sociales: División para el Desarrollo Sostenible. 1992. Agenda 21. En: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21spchapter18.htm>
- Ramírez A, Viña G. Limnología colombiana, aportes a su conocimiento. Colombia. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano; 2000. 293p.
- Burkholder J. Eutrophication and oligotrophication. En: ASHER S. (ed.) Encyclopedia of biodiversity. Academic Press. United States 2001; p. 649-670.
- Vargas C, Rojas R, Joseli J. Control y Vigilancia de la Calidad del Agua de Consumo humano. Textos Completos. CEPIS; 1996. 27p.
- OMS. Guías OMS para la Calidad del Agua de Bebida. Publicación Científica OPS; 1996. 481 p.
- OMS. Guías para la calidad del agua potable. OMS. Ginebra; 1995.
- Galárraga E. Algunos Aspectos relacionados con microorganismos en agua potable. Revista Politécnica de información técnica científica 1984; 9: 135-43.
- Prescott L, Harley J y Klein; D. Microbiología. Editorial McGraw-Hill. Madrid, España; 1996.
- Rodríguez D. Enfermedades emergentes y reemergentes: amenaza permanente. RESUMED 2001; 14: 37-40
- Suarez C, Berdasquera D. Enfermedades Emergentes Y Reemergentes: Factores Causales Y Vigilancia. Rev Cubana Med Gen Integr 2000; 16:593-7.
- World Health Organization. Emerging Issues in Water and Infectious Disease WHO press. France.2003. 24 p.
- Guardabassi L, Dalsgaard A. Occurrence, structure, and mobility of Tn1546-like elements in environmental isolates of vancomycin-resistant enterococci. Appl Environ Microbiol 1994; 70:984-90.
- Parveen S, Huq A, Aziz K. Antibiotic resistance patterns of Aeromonas spp. isolated from environmental and clinical sources. J Microbiol 1998; 5:25-9.
- World Health Organization and UNICEF. Water for life. Making it happen. France WHO press; 2005. 44 p.
- Campos C. Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola. Tesis doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. 1999. 250 p.
- Fernández A, Molina M, Alvarez A, Alcántara M, Espigares A. Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. Higiene y Sanidad Ambiental 2001; 1: 8-24.
- Pinilla G. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Bogotá, Colombia. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones; 1998. 67 p.
- Biggs B y Kilroy C. Stream Periphyton Monitoring Manual. Christchurch, New Zeland: NIWA for Ministry for the Environment; 2000. 131 p.
- Olivieri V. Bacterial indicators of pollution. En: Pipes W.O (ed.). 1982. Bacterial Indicators of Pollution. Boca Raton, Florida: CRP. Press, inc; 1982. p: 21-41.
- Craun G, Berger P, Calderón, R. Coliform bacteria and waterborne disease outbreaks. J. Am. Water Works Ass 1997; 89: 96-104.
- Rose J. Environmental ecology of Cryptosporidium and public health implications. Ann. Rev. Publ. Health, 1997; 18: 135-161.
- Steiner T, Thielman N, Guerrant R. Protozoal agents. What are the dangers for the public water-supply. Annu. Rev. Med 1997; 48: 329-340.
- Canosa A.. Indicadores bacteriológicos de eutrofización en los embalses de Chuza, Neusa y Tominé, y en la laguna de Chingaza. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones Científicas 1995.
- Moore J, Heaney N, Millar B, Crowe M, Elborn J. Incidence of Pseudomonas aeruginosa in recreational and hydrotherapy pools. Commun Dis Public Health 2002; 5: 23-26.
- Harwood V, Levine A, Scott T, Chivukula V, Lukasik J, Farrah S, Rose J. Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. Appl Environ Microbiol 2005; 71:316-70.
- Environment Agency. 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. United States: Environment Agency; 2002.
- Godfree A, Kay D, Wyer, M. Faecal streptococci as indicator of fecal contamination in water. Journal of Applied microbiology. Symposium Supplement 1997;83:110-119.
- Messer J, Dufour A. A Rapid, Specific membrane Filtration Procedure for Enumeration of Enterococci in recreational Water. Appl. Environ. Microbiol 1998; 64: 678-80.
- Edberg S, Le Clero H, Robertson J. Natural protection of spring and well drinking water against surface microbial contamination. II. Indicators and monitoring parameters for parasites. Crit. Rev. Microbiol 1997; 23: 179-206.
- Rolim S. Sistemas de lagunas de estabilización. Bogotá: Mc Graw Hill;2000. 370 p.
- Collins C, Lyne P. Métodos microbiológicos. Ed, Acribia, Zaragoza, España; 1989.
- De Vicente A, Codina, J. Borrego C, Romero P. Relationship between Pseudomonas aeruginosa and bacteria indicators in polluted natural waters. Wat. Sc. Tech 1991;24: 121-24.
- Janda J, Duffey P. Mesophilic aeromonads in human disease: current taxonomy, laboratory identification and infectious disease spectrum. Reviews in Infectious Diseases. 1998; 10: 980-87.
- Ivanova E, Zhukova V, Gorshkova N, Chaikina E. Characterization of Aeromonas and Vibrio species isolated from a drinking water reservoir. J. Appl. Microbiol. 2001;90: 919-27.
- Janda J. Recent advances in the study of the taxonomy, pathogenicity, and infectious syndromes associated with the genus Aeromonas. Clinical microbiology reviews 1991; 4: 397-410.
- Rippey S, Cabelli V. Use of thermotolerant Aeromonas group for the trophic classification of freshwaters. Water research 1989; 23:1107-14.
- World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality. United States: World Health Organization; 2004.
- Monteil H, Harf M. Les infections à Aeromonas. Le Presse Médicale 1997; 37: 1790-1798.
- Janda J, Abbott S. Human Pathogens. In: Austin B et al., eds. The genus Aeromonas. London: Wiley; 1996. p: 151-173.
- Brooks G, Butel J, Morse S.
- Payment P, Larose Y, Trudel M. Polioviruses as indicator of virological quality of water. Can J Microbiol. 1979; 25:1212-4.
- Schwartzbrod L. 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. Geneva: Université de Nancy. World Health Organization; 178 p.
- Kott Y, Ben Ari H, Vinour L. Coliphages survival as viral indicator in various wastewater quality effluents. Pro Wat Tech 1978; 10: 337-46.
- Borrego J, Morfio M, De Vicente A, Córnox R y Romero P. Coliphages as an indicator of faecal pollution in water. Its relationship with indicator and pathogenic microorganisms. Water. Research 1987; 21: 1473-1480.

45. Payan A, Ebdon J, Taylor H, Gantzer C, Ottoson J, Papageorgiou G, Blanch A, Lucena F, Jofre J, Muniesa M. Method for isolation of *Bacteroides* bacteriophage host strains suitable for tracking sources of fecal pollution in water. *Appl Environ Microbiol* 2005; 71:5659-62.
46. Nelson K. Concentrations and inactivation of *Ascaris* eggs and pathogen indicator organisms in wastewater stabilization pond sludge. *Water Sci Technol* 2003;48:89-95.
47. Margalef R. *Limnología*. Barcelona, España: Ediciones Omega.; 1992. 1010 p
48. Roldán G. *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia; 1992. 529 p
49. Curtis H. & N. Barnes. *Biología*. Buenos Aires: Editorial medica panamericana. Quinta edición; 1996. 1199 p.
50. Liboriussen L. Production, regulation and ecophysiology of periphyton in shallow freshwater lakes. PhD Thesis. National Environmental Research Institute, Denmark. 2003. En: <http://afhandling.dmu.dk>
51. Wetzel, R. *Limnología*. Barcelona: Ediciones Omega S.A; 1981. 679 p
52. Rodrigues L, Bicudo B. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradients of upper Paraná river floodplain, Brazil. *Rev. bras. Bot* 2001;24(3):114-18.
53. Naundorf, G. 2002. Las comunidades microbianas, fitoplanctónicas y perifíticas en ecosistemas acuáticos. Universidad del Cauca. Material del Curso Biota Acuática I. Popayán, Colombia: Maestría en Recursos Hídricos Continentales. 2002.
54. Henry J, Fisher S. Spatial segregation of periphyton communities in desert streams: causes and consequences for N cycling. *Journal of the American Benthological Society* 2003; 22(4): 511-27.
55. Roberts S, Sabater S, Beardall J. Benthic microalgal colonization in streams of differing riparian cover and light availability. *Journal of Phycology* 2004; 40(6): 1004-12.
56. Andreu E, Camacho A. Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar. Madrid- España: Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Secretaria General del Medio Ambiente; 2002. 226 p
57. Donato J, González L, Rodríguez C. Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogota, D.C Colombia.: Colección Jorge Álvarez Lleras; 1996. 168 p.