

CAPÍTULO 2

ASPECTOS BIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Bióloga Margarita Aurazo de Zumaeta

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas superficiales están expuestas a una amplia gama de factores que pueden alterar su calidad biológica y ocasionar cambios simples o complejos y con diferentes niveles de intensidad. Esta alteración se puede originar en eventos naturales o en actividades antropogénicas, como el uso doméstico del agua y la consiguiente producción de aguas residuales, de la industria, minería y agricultura, entre otras.

La contaminación fecal de las fuentes de aguas superficiales para abastecimiento de consumo humano es uno de los problemas más preocupantes en los países en vías de desarrollo. En las grandes ciudades esta contaminación se debe principalmente al vertimiento de los desagües sin ningún tratamiento. También se ha observado que la contaminación fecal es intensa en las zonas de arrastre provenientes de los corrales de engorde de bovinos y de las avícolas (1).

Además del vertimiento o infiltración de aguas residuales sin tratar, también aportan contaminantes los lixiviados de rellenos sanitarios, los efluentes de aguas residuales con tratamiento deficiente, las infiltraciones de tanques sépticos, etcétera. Asimismo, la escorrentía pluvial y las inundaciones ocasionan el deterioro de la calidad del agua de los recursos hídricos. En las zonas rurales la contaminación fecal se origina por la defecación a campo abierto y por la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorios de agentes patógenos.

El uso de aguas superficiales como fuentes de agua de bebida implica un riesgo de transmisión de enfermedades hídricas. Los agentes patógenos involucrados con la transmisión por esta vía son las bacterias, virus y protozoos, helmintos y cyanobacterias, que pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta serios y a veces fatales cuadros de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. La transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden transmitirse a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos y de los animales al hombre, entre otras vías.

Los agentes patógenos y los organismos productores de toxinas que pueden estar presentes en aguas superficiales y cuya transmisión hídrica está demostrada pertenecen a los siguientes grupos:

Cuadro 2-1. Agentes patógenos y organismos productores de toxinas en aguas superficiales

Bacterias	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> .
Virus	<i>Enterovirus</i> , <i>Rotavirus</i> , <i>Adenovirus</i> .
Protozoos	<i>Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Entamoeba histolytica</i> , <i>Balantidium coli</i> .
Helmintos	<i>Ascaris</i> , <i>Trichuris</i> , <i>Taenia</i> .
Cyanobacterias	<i>Anabaena</i> , <i>Microcystis</i> .

Se ha demostrado la presencia de patógenos en aguas superficiales, así como su relación con los brotes epidémicos. En algunos casos no se ha detectado la fuente de origen pero, por las características del brote, se presume que su transmisión ha ocurrido por la vía hídrica. Brotes de *Giardia*, *Cryptosporidium* y fiebre tifoidea con transmisión hídrica han sido bien documentados (Craun, 2001).

2. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

2.1 Organismos propios de las aguas superficiales

En las aguas superficiales se encuentra una amplia gama de organismos no perceptibles a simple vista. En condiciones normales, estos organismos permiten el desarrollo de los ciclos biológicos y químicos en el cuerpo de agua y no son necesariamente nocivos para la salud o para el tratamiento del agua.

Los organismos propios de las aguas superficiales están en permanente actividad y ninguno vive aislado. Su existencia depende del medio que los rodea. Se entiende por medio tanto el ambiente físico como los organismos con los cuales se convive. Todos forman parte de un ecosistema.

Un ecosistema es una unidad ecológica cuyos componentes básicos, físicoquímicos y biológicos, operan juntos para producir una estabilidad funcional.

La supervivencia de los microorganismos propios de las aguas superficiales está ligada a la presencia de ciertos factores tales como temperatura, horas luz e intensidad luz, gas carbónico, nutrientes, minerales, entre otros, y precisamente la contaminación del agua altera dichos factores debido a la introducción de sustancias extrañas al ecosistema.

En un ecosistema acuático, la luz solar regula la fotosíntesis y los organismos que tienen clorofila, como las algas, acumulan energía que utilizan para su sostenimiento, crecimiento y reproducción. Este grupo de organismos son los productores primarios, su energía es transmitida a los animales herbívoros, como los Cladóceros, los Copépodos y los Rotíferos, que se alimentan de las algas y por ello se les conoce como *consumidores de primer orden*. Estos, a su vez, sirven de alimento para los consumidores de los órdenes sucesivos. De este modo, se forma una red alimenticia cuya diversidad aumenta con la organización y complejidad del ecosistema.

En las aguas superficiales existe un grupo de organismos que actúan en los procesos de biodegradación. Este grupo está conformado principalmente por bacterias y hongos. Estos organismos transforman la materia orgánica muerta en compuestos inorgánicos simples. La biodegradación de la materia orgánica favorece la autodepuración de las aguas, que se produce cuando la materia está constituida por sustancias que pueden ser biodegradadas por los microorganismos responsables de esta actividad biológica.

Los organismos que en forma normal se encuentran en las aguas superficiales son los siguientes:

Algas. Son plantas de organización sencilla, fotosintéticas. Presentan clorofila. Existen en formas unicelulares, coloniales y pluricelulares. La clasificación sanitaria de las algas está basada en sus características más saltantes y de fácil observación. Dicha clasificación considera los siguientes grupos: algas azul-verdes, algas verdes, diatomeas y algas flageladas.

En las aguas superficiales existe una diversidad de algas: flotantes, epifitas, litorales y bentónicas. Su reproducción guarda estrecha relación con la naturaleza de los distintos hábitats, caracterizados a su vez por diferentes factores ecológicos como la luz, la temperatura, los nutrientes como los nitratos y los fosfatos, el oxígeno, el anhídrido carbónico y las sales minerales (2).

El incremento anormal de las algas se produce por el exceso de nutrientes y cambios en la temperatura. Este fenómeno se conoce como *eutrofización* o *eutroficación* y tiene como consecuencia múltiples dificultades en el tratamiento y la desinfección del agua por la producción de triahalometanos y otras sustancias químicas que alteran el sabor y el olor del agua tratada.

Cuando las algas traspasan ciertos valores por unidad de volumen —valores que dependen de la especie de alga predominante, la temperatura del agua, el tipo de tratamiento, etcétera—, causan problemas en las plantas de tratamiento. Estos problemas son los siguientes:

Sabor y olor. Se ha detectado que algunas algas producen olor a pescado, tierra y pasto, entre otros.

Color. La abundancia de las algas clorófitas produce un color verde en el agua; otras, como la *Oscillatoria rubens*, originan un color rojo.

Toxicidad. Algunos tipos de algas azul-verdes, actualmente denominadas *cyanobacterias*, causan disturbios gastrointestinales en los seres humanos.

Corrosión. Algas como la *Oscillatoria* pueden producir corrosión en las piezas o tubos de concreto armado y en los tubos de acero expuestos a la luz. Algunas veces el agua influye en la modificación química del medio.

Obstrucción de filtros. Cuando la decantación no se realiza en forma adecuada, pueden pasar organismos al filtro y colmatarlo. Las diatomeas constituyen el grupo de algas que causa mayores problemas por poseer cubiertas de sílice que no se destruyen después de su muerte.

Dificultad en la decantación química. Existen algunos tipos de Cyanobacterias que al envejecer, forman bolas de aire en su citoplasma. Los flóculos de hidrógeno de aluminio aglutinan estas algas sin decantar y causan problemas.

Alteración del pH. Esta alteración se produce debido al consumo de CO_2 con precipitación de CaCO_3 , lo que aumenta el pH.

El control de la densidad de algas en las fuentes de agua destinadas al abastecimiento debe efectuarse en forma preventiva. Se debe limitar el ingreso de nitrato y de fosfatos a la fuente. En el caso de que se requiera un proceso correctivo, este puede efectuarse mediante el uso de alguicidas como el sulfato de cobre, el cloro o una combinación de ambos.

En este proceso se deben tomar en cuenta muchos aspectos. Uno de ellos es la cantidad de alguicida que se debe emplear. Se debe utilizar una dosis que no afecte al hombre ni a los peces. La dosis debe calcularse según la especie predominante y su concentración. El sulfato de cobre es uno de los alguicidas más usados. Debe emplearse en dosis inferiores a una parte por millón.

Bacterias. Son seres de organización simple, unicelulares. Se distribuyen en una amplia variedad de sustratos orgánicos (suelo, agua, polvo atmosférico). La mayor parte de bacterias son beneficiosas para el ecosistema acuático. De ellas depende la mayor parte de las transformaciones orgánicas. Favorecen la autodepuración de los cuerpos de agua. Existe otro grupo de bacterias que son patógenas y que pueden causar enfermedades graves en el hombre y en los animales.

Protozoarios. Son organismos unicelulares, con una amplia distribución en los cuerpos acuáticos. La mayor parte de los protozoarios son beneficiosos, pues contribuyen a preservar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. Su incremento anormal puede ocasionar alteraciones en el ecosistema acuático; otro grupo de protozoarios son parásitos y pueden causar enfermedades en el hombre y en los animales.

Rotíferos, Copépodos y otros Crustáceos. Conforman los grupos predominantes del zooplancton de aguas superficiales y, al igual que los protozoarios, participan en la cadena alimenticia de los ecosistemas acuáticos. El incremento anormal del zooplancton causa un desequilibrio en el sistema y trae consecuencias negativas como la disminución del oxígeno disuelto, alteraciones en el pH, en el olor y el color del agua, entre otras.

Insectos. El agua constituye el hábitat de diversos insectos acuáticos que desarrollan su ciclo evolutivo en los diferentes estratos de la columna de agua. Otro grupo de insectos solo desarrolla parte de su ciclo evolutivo en el agua, y en sus estadios larvarios y como huevos conforman el zooplancton en forma temporal.

Los grupos de organismos antes mencionados están en permanente actividad dentro del cuerpo de agua, pero ninguno vive aislado. Su existencia depende del medio, definido tal como vimos anteriormente.

Como puede observarse, los factores que intervienen en los ecosistemas de aguas superficiales son múltiples. Se considera que la calidad del agua superficial es muy variable y necesita caracterizarse durante un periodo determinado para definir los aspectos que deben considerarse en el tratamiento y los parámetros que servirán para el control del mismo.

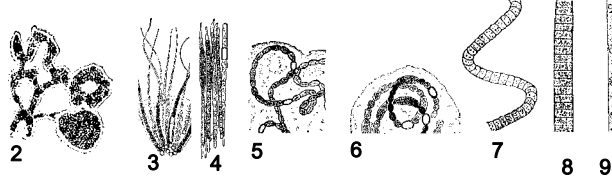
En conclusión, la presencia de los organismos de vida libre en condiciones normales es beneficiosa para las aguas superficiales. Se convierte en un problema cuando su concentración y composición alteran la calidad del agua y se presentan dificultades para el uso y tratamiento del recurso hídrico.

En el apartado siguiente se describen los agentes patógenos u organismos productores de toxinas que pueden estar presentes en las aguas superficiales.

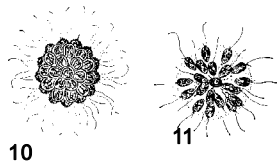
Bacterias



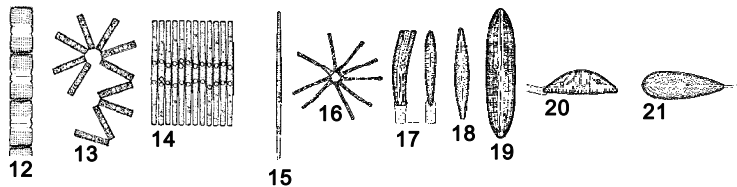
Algas azules

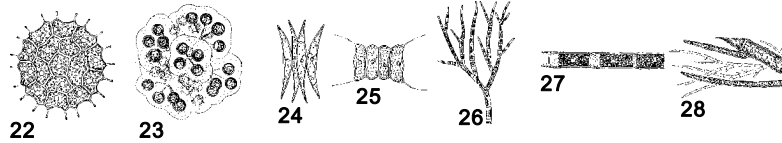
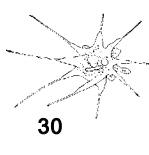
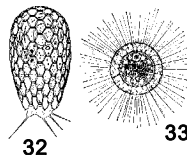
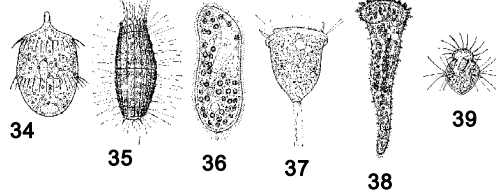


Crisofíceas



Diatomeas



Clorofíceas**Conyugadas****Amebas****Heliozoos****Ciliados****Rotíferos****Anélidos****Figura 2-1.** Microorganismos en las aguas superficiales (3)

Bacterias: 1. *Escherichia coli*. Algas azules: 2. *Microcystis flos-aquae*. 3. *Gloetrichia echinulata*. 4. *Aphanizomenon flos-aquae*. 5. *Nostoc carneum*-*Nostoc linckia*. 6. *Anabaena spiroides*. 7. *Spirulina platensis*. 8. *Oscillatoria rubescens*-*Oscillatoria agardhii*. 9. *Oscillatoria redeckei*. Crisofíceas: 10. *Synura uvella*. 11. *Uroglena volox*. Diatomeas: 12. *Melosira granulata*-*Melosira varians*-*Melosira italica*. 13. *Tabellaria fenestrata*-*Diatoma vulgare*-*Diatoma elongatum*. 14. *Fragilaria crotonensis*-*Fragilaria construens*. 15. *Synedra ulna*-*Synedra acus*. 16. *Asterionella formosa*. 17. *Rhoicosphenia curvata*-*Stauroneis phoenicenteron*. 18. *Navicula rhynchocephala*. 19. *Pinnularia major*. 20. *Cymbella ventricosa*. 21. *Gomphonema olivaceum*-*Epithemia turgida*-*Nitzschia acicularis*-*Nitzschia stagnorum*-*Cymatopleura solea*-*Cymatopleura elliptica*-*Surirella biseriata*-*Surirella ovata*-*Surirella tenera*. Clorofíceas: 22. *Pediastrum boryanum*. 23. *Dictyosphaerium pulchellum*-*Selenastrum bibraianum*-*Anikistrodesmus acicularis*. 24. *Scenedesmus acuminatus*. 25. *Scenedesmus quadricauda*-*Enteromorpha intestinalis*. 26. *Chaetophora elegans*.

2.2 Bacterias patógenas

Las bacterias son microorganismos unicelulares. Miden desde menos de un micrómetro hasta diez micrómetros de longitud y de 0,2 a un micrómetro de ancho. Hay algunas que tienen forma de bacilos como la *Escherichia coli*. Otras son esféricas, llamadas *cocos*, y otras espirales. Las bacterias se encuentran cubiertas por una pared celular fuerte y rígida y están provistas de una cápsula viscosa que representa una capa protectora adicional, lo que permite su supervivencia en el ambiente, según las condiciones ambientales, durante varias horas o días.

Las bacterias patógenas de transmisión hídrica provienen de seres humanos y de animales de sangre caliente (animales domésticos, ganado y animales silvestres). Estos agentes microbianos llegan a los cursos de agua a través de las descargas de aguas residuales sin tratar o con tratamiento deficiente, drenaje de lluvias, descargas de plantas de procesamiento de carne de ganado y de aves, escorrentías que pasan por los corrales de ganado. En las zonas rurales la práctica de la defecación a campo abierto también constituye una fuente de contaminación de las aguas superficiales. En cambio, las aguas de origen subterráneo tienen una baja incidencia de contaminación bacteriana (4).

Se ha demostrado la presencia de bacterias patógenas en aguas superficiales. Sin embargo, no todas las bacterias patógenas que se transmiten por el agua tienen igual significado para la salud. La presencia de algunas representa un serio riesgo y su eliminación del agua de consumo humano es de alta prioridad debido a que su ingestión podría ocasionar una epidemia con consecuencias graves para la salud de la población. Otras se presentan en forma natural en las aguas y normalmente no son patógenas, pero pueden causar enfermedades en personas con ciertas deficiencias orgánicas que facilitan la infección. Estos microorganismos se denominan *bacterias patógenas oportunistas*.

Las bacterias patógenas que tienen un alto significado para la salud son el *Vibrio cholerae*, la *Escherichia coli* enteropatógena, la *Salmonella typhi*, la *Shigella*, el *Campylobacter jejune* y la *Yersinia enterocolitica*, entre otras. Estas bacterias se transmiten por vía oral. La mayoría tiene un tiempo de persistencia en el agua que va de corto a moderado, baja resistencia al cloro y una dosis infectiva alta. Se ha demostrado que en algunas bacterias como la *Salmonella*, el reservorio animal cumple un papel importante. También se sabe que la mayoría de bacterias patógenas no se multiplican en el ambiente, pero algunas, como el *Vibrio cholerae*, pueden multiplicarse en aguas naturales.

Uno de los factores que permiten la transmisión hídrica es el alto número de bacterias que elimina un individuo enfermo. En el caso de la *Escherichia coli*, elimina 10^8 por gramo de heces; en el de la *Salmonella*, 10^6 ; en el del *Campylobacter*, 10^7 ; y en el del *Vibrio cholerae*, 10^6 . Otro factor importante es el tiempo de supervivencia en agua: la *E. coli* y la *Salmonella* viven 90 días, la *Shigella* se mantiene por 30 días; el *Campylobacter*, por 7 días; y el *Vibrio cholerae*, por 30 días. Con respecto a la dosis infectiva¹, factor que debe tenerse en cuenta cuando se trata de interpretar el significado de la presencia de las bacterias en el agua, la de *E. coli* está entre 10^2 y 10^9 ; la de *Salmonella*, en 10^7 ; y la de *Vibrio cholerae*, en 10^3 (6).

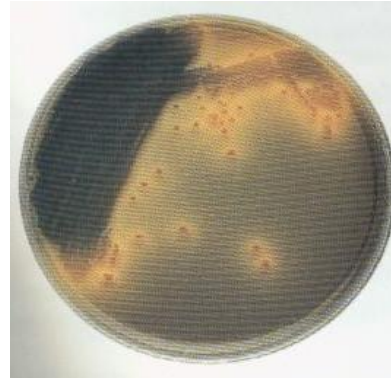


Figura 2-2. Aislamiento de *Vibrio cholerae* en medio TSBS (5)

La *Escherichia coli* es una bacteria que habita en forma normal en el intestino de los mamíferos. Algunas cepas no son patógenas y otras causan enfermedades gastrointestinales a través de una variedad de mecanismos. Se presentan formas enteropatógenas, enteroinvasivas, enterotoxigénicas y las productoras de verocitoxina como la *E. coli* O157.



Figura 2-3. Bacilos de *E. coli* (3)

La epidemia del cólera ocurrida en América evidencia lo que puede suceder cuando un agua tiene calidad deficiente. Hasta 1991 no se habían detectado casos de cólera en América. En forma repentina se identificaron los primeros casos en Chimbote (Perú) y a los pocos días la enfermedad se había propagado hacia las ciudades de la costa y rápidamente a los países vecinos. Los principales agentes etiológicos del cólera son el *Vibrio cholerae* O1 y el *V. cholerae* O139. Aún está en estudio el rol que desempeñan el *V. cholerae* no O1 y el *V. cholerae* no O139 (7).

¹ Dosis infectiva es el número de microorganismos necesarios para producir infección.

Se han detectado brotes epidémicos de origen hídrico asociados con *Salmonella typhi* y con menos frecuencia con *S. paratyphi B* u otro tipo de *Salmonella*. La *S. typhi* es el agente de la fiebre tifoidea. Otros tipos de *Salmonella* pueden causar gastroenteritis. Se han detectado brotes de salmonelosis causados por el transporte de sedimentos contaminados en el sistema de distribución de agua. En algunos casos este ingreso se ha presentado por oscilaciones o intermitencias en el sistema. Se recomienda evitar las intermitencias, controlar la turbiedad y el cloro residual en el agua potable, así como el carbono orgánico asimilable.

En la actualidad se reconoce la presencia de bacterias patógenas emergentes, como la *Escherichia coli* O157, enteropatógeno que causa diarreas, colitis hemorrágica y síndrome urémico hemolítico. Algunos brotes han sido atribuidos al agua de consumo; otros al consumo de carne poco cocida, leche y otros alimentos, así como a la transmisión de persona a persona (8, 9). Numerosos estudios han demostrado la transmisión hídrica de la *E. coli* O157.

Isaacson (10) efectuó un estudio en aguas superficiales en una comunidad de Sudáfrica y detectó *E. coli* O157 en 18,4% de las muestras de agua y la relacionó con la ocurrencia de casos de diarrea hemorrágica en la población que se abastecía de dicha fuente. La identificación de *E. coli* O157 en el agua presenta una serie de dificultades. Una de ellas es que se encuentra en un bajo número de microorganismos en el agua; por este motivo, las evidencias epidemiológicas son esenciales para la investigación de un brote de *E. coli* O157 (8).

2.2.1 *Escherichia coli*

Estudios recientes han considerado la importancia del *Campylobacter* como un agente causal de enteritis, gastritis y otras enfermedades en los seres humanos. Se han detectado situaciones de riesgo por la ingestión de agua sin desinfección y contaminada con residuos fecales de pájaros silvestres (6).

En las aguas superficiales sin tratar se ha demostrado la presencia de las bacterias patógenas antes mencionadas. Es muy difícil demostrar que están en el agua tratada. Si se detectase su presencia, ello indicaría que se están presentando serias fallas en el diseño y el manejo del sistema y también la posible presencia de sedimentos en las redes de distribución del agua debido a fluctuaciones en la presión. Los tratamientos convencionales y la desinfección son eficaces contra las bacterias patógenas.

Las bacterias patógenas oportunistas se presentan en forma natural en las aguas y pueden causar enfermedades cuando se exponen individuos en situaciones de riesgo, como ancianos, niños, pacientes que están recibiendo terapias que disminuyen las defensas, individuos inmunodeprimidos y con sida. El agente microbiano puede producir una variedad de infecciones que ingresan por la piel, las membranas mucosas de los ojos, los oídos y la nariz, por vía oral e inhalación. Estas bacterias pueden multiplicarse en el agua tratada, tienen resistencia entre leve y moderada al cloro y no tienen reservorio animal. Las bacterias hídricas patógenas oportunistas son *Legionella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas* y *Mycobacterium*.

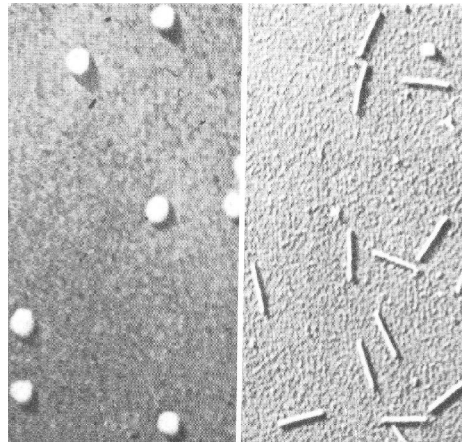


Figura 2-4. Microfotografía electrónica de virus (11)

Las bacterias patógenas se encuentran dispersas en los cuerpos de agua superficiales. Para su determinación, se requiere alguna técnica de concentración, antes de efectuar el aislamiento e identificación. El análisis se realiza con el auxilio de medios de cultivo y temperaturas específicas.

2.3 Virus entéricos

Los virus son moléculas de ácido nucleico que pueden penetrar en las células y replicarse en ellas. Son acelulares y están constituidos por ácido nucleico y por proteínas. Entre las familias de Enterovirus que se han detectado en el agua están los Picornavirus, que miden entre 27 y 28 nanómetros; los Reovirus, de 70 nanómetros; los Adenovirus, que tienen entre 65 y 80 nanómetros; y los Papovirus, de entre 45 y 55 nanómetros.

Los virus entéricos se multiplican en el intestino del hombre y son excretados en gran número en las heces de los individuos infectados. Algunos virus entéricos sobreviven en el ambiente y permanecen infectivos. Es complicado encontrar la relación entre la ocurrencia de virus en el agua y el riesgo para la salud de la población, debido a que en el desarrollo de la enfermedad están involucrados muchos factores.

La incidencia de los virus que infectan al hombre, tanto en los ambientes acuáticos como en los procesos de tratamiento, puede ser diferente de la incidencia de los indicadores fecales. Este comportamiento se debe a las siguientes razones:

- El número de virus en los ambientes acuáticos es generalmente inferior, en varios órdenes de magnitud, que los coliformes termotolerantes.
- Los virus son excretados durante periodos cortos y en número elevado, hasta 10^{12} por gramo de heces.
- La estructura, la composición, la morfología y el tamaño de los virus difiere fundamentalmente del de las bacterias, lo que determina que el comportamiento y la supervivencia sean diferentes.

En aguas superficiales sin tratar se ha detectado la presencia del grupo *Picornavirus*, que incluye al virus de la hepatitis A. Estos virus son sumamente resistentes a la inactivación por los factores ambientales. Esto ocurre cuando los virus se encuentran adheridos a los sedimentos y partículas propias de las aguas superficiales. Lucena et al. (12) identificaron Enterovirus, Poliovirus, Cocksakievirus, Echovirus y otros en muestras de agua de los ríos Besós y Llobregat en España.

La presencia de Rotavirus en agua de abastecimiento tiene una alta relevancia para la salud pública y, en especial, para los niños, que pueden verse afectados por severos cuadros de diarrea. En aguas superficiales también se han detectado Adenovirus, que causan infecciones en la conjuntiva e infecciones respiratorias e intestinales; Norwalk virus, que causan infecciones en el yeyuno; y otros virus como los Reovirus, los Parvovirus y los Papovavirus. En general, los virus entéricos son capaces de producir una variedad de síndromes que incluyen gastroenteritis, fiebre, miocarditis, meningitis, enfermedades respiratorias y hepatitis.

Aún no se conoce con certeza la relación entre la presencia de virus en el agua y el riesgo para la salud humana debido a la variedad de factores que influyen en su transmisión por vía hídrica. La dispersión de las infecciones virales se agrava por la posible transmisión secundaria y aun terciaria debido a otras rutas diferentes del agua, que en determinados casos constituye el origen de la infección. Un tratamiento apropiado y la desinfección del agua son pasos esenciales para la eliminación de los virus.

Debido al riesgo que representa la presencia de virus en el agua de abastecimiento humano, es deseable que se incluya el análisis virológico en la vigilancia de la calidad del agua, pero debido al elevado costo de este tipo de

análisis, a la complejidad del procedimiento y al tiempo que demanda, no es posible incluirlo como un parámetro de rutina en la vigilancia de la calidad del agua y aún se considera válida la vigilancia en función de la detección de indicadores bacteriológicos.

Los métodos de detección de virus incluyen la recuperación de pequeñas cantidades de virus en volúmenes grandes de agua. Para su identificación, una de las técnicas más usadas es el PCR (13)². Sin embargo, se ha comprobado que algunos compuestos orgánicos e inorgánicos pueden interferir en las reacciones propias de la técnica de PCR, por lo cual se están introduciendo algunas variaciones en la técnica original como el uso de membranas de filtración electropositivas, que incrementan el nivel de eficiencia del método al favorecer la concentración de los virus y eliminar los niveles de citotoxicidad de los compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden estar presentes en el agua (14). El PCR es un método sensible, específico y rápido, y ha sido utilizado para detectar virus que afectan a los seres humanos, enterovirus, adenovirus y virus de la hepatitis A en aguas de río, agua marina y aguas residuales, entre otros tipos de recursos hídricos (15).

2.4 Enteroparásitos

Las aguas superficiales están expuestas a un sinnúmero de factores que posibilitan la contaminación con enteroparásitos. En primer lugar, se presenta la falta de protección de las fuentes de agua. En muchos casos, los cursos de agua se convierten en cuerpos receptores de desagües evacuados de las ciudades, pueblos y caseríos; también reciben efluentes de camales y granjas. En las zonas rurales, donde es común que las personas defequen a campo abierto, las escorrentías arrastran las heces de humanos y animales y las incorporan a los cursos de agua. Además, es común observar letrinas mal diseñadas donde los residuos fecales son vertidos a las acequias que, a su vez, desembocan en los cursos de agua. Asimismo, en los ríos, lagos y lagunas habitan innumerables animales silvestres que son reservorios de enteroparásitos.

El problema del enteroparasitismo en los países desarrollados está relacionado principalmente con la transmisión de protozoarios patógenos como *Giardia* y *Cryptosporidium* y en los países en vías de desarrollo, la población está parasitada con helmintos o gusanos como *Ascaris*, *Trichuris*, *Uncinarias*,

² PCR son las siglas en inglés de “réplica en cadena de la polimerasa”, una técnica que en el campo de la microbiología ambiental se usa para la identificación de especies.

Strongyloides; tenias como *T. Solium*, *T. Saginata*, *Hymenolepis nana* y protozoarios como *Giardia*, *Cryptosporidium* y *Entamoeba histolytica*, entre otros.

El enteroparasitismo es una dolencia que contribuye a elevar el índice de desnutrición infantil y produce alteraciones en el crecimiento, interferencias con la absorción de nutrientes, cuadros de anemia y de ulceración de la mucosa intestinal, incremento de casos de alergias, pérdida de energía y letargo, lo que disminuye la capacidad de trabajo y la productividad y, en general, produce un deterioro de la calidad de vida en la población.

El mecanismo de transmisión de los enteroparásitos es la ingestión de agua o alimentos contaminados, principalmente de productos agrícolas de consumo crudo. Algunas especies también se transmiten a través de la piel o de persona a persona. La transmisión de las enfermedades enteroparasitarias depende de factores ambientales, ecológicos y socioculturales. Se requiere una fuente de infección, la dispersión de los huevos y quistes en el ambiente, la ocurrencia de condiciones ambientales que favorezcan su supervivencia y la presencia de huéspedes susceptibles.

Estudios procedentes de países desarrollados indican que la mayoría de aguas superficiales tienen niveles de contaminación parasitaria que deben ser considerados en los procesos de tratamiento y desinfección del agua de consumo humano. Se afirma que 60% de los casos de giardiasis ocurridos en Estados Unidos han sido transmitidos por vía hídrica. Diversos estudios epidemiológicos demuestran

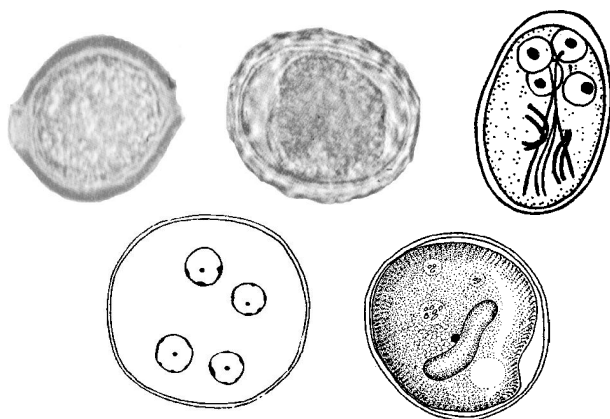


Figura 2-5. Huevos y quistes de enteroparásitos (16)

que existe una clara relación entre la aparición de los brotes de giardiasis y cryptosporidiosis y la presencia de quistes u ooquistes de *Giardia* y *Cryptosporidium* en el agua de abastecimiento. La detección de tasas por encima de los niveles endémicos indica que la epidemia está significativamente ligada a una transmisión hídrica.



Figura 2-6. Cápsula de muestreo de enteroparásitos (17)

Para la detección de quistes y ooquistes de protozoos³ y huevos de helmintos enteroparásitos en aguas superficiales crudas y tratadas, se requiere la concentración de un volumen de muestra mayor que el designado para los análisis microbiológicos debido a que los huevos y quistes de enteroparásitos se encuentran dispersos en los cuerpos de agua superficial y sistemas de agua potable. La mayoría de investigadores sugiere 10 litros para aguas sin tratamiento y 100 litros para aguas tratadas.

Un procedimiento de concentración de enteroparásitos es el equipo de filtración de grandes volúmenes de agua, que cuenta con un cartucho de hilo de polipropileno de un micrómetro de porosidad nominal. Otra alternativa es el uso de cápsulas de muestreo. Para la identificación de los quistes, se están usando anticuerpos monoclonales⁴ y PCR y, en el caso de los huevos, la observación directa en el microscopio óptico.

2.4.1 Protozoarios patógenos

Las aguas superficiales están expuestas a la contaminación con quistes de *Giardia* y ooquistes de *Cryptosporidium* y otros protozoarios enteroparásitos como *Entamoeba histolytica* y *Balantidium coli*.

³ Los quistes y los ooquistes son estadios evolutivos de los protozoarios que se caracterizan por tener una membrana protectora sumamente resistente a los factores ambientales. El trofozoito es un estadio de los protozoarios; es vegetativo, se reproduce en el huésped y no es resistente a los factores ambientales.

⁴ *Anticuerpos monoclonales* son anticuerpos específicos que permiten identificar especies.

Asimismo, en las aguas superficiales pueden estar presentes las amebas patógenas de vida libre, como los géneros *Naegleria* y *Acanthamoeba*. Estas amebas se introducen por las vías nasales, al nadar o bucear en aguas dulces, especialmente en acequias estancadas o lagunas ubicadas en zonas de clima cálido o a finales de verano, en manantiales con agua caliente o en grandes masas de agua calentadas por el vertimiento de aguas industriales, o en agua caliente de tinas, pozas de aguas termales y piscinas públicas con deficiente mantenimiento sanitario. Los trofozoítos de *Naegleria* colonizan las vías nasales y después invaden el cerebro y las meninges. La *Acanthamoeba* puede llegar al cerebro por vía sanguínea y probablemente utiliza como punto de entrada lesiones en la piel o en la córnea. En personas que usan lentes de contacto blandos, la infección corneal con *Acanthamoeba* se ha relacionado con la contaminación de la solución salina casera que se usa como agente de limpieza o humedecimiento.

La contaminación de las fuentes de agua de origen superficial por parásitos es un aspecto que está siendo evaluado a escala mundial. Estudios procedentes de países desarrollados indican que la mayoría de aguas superficiales tienen niveles de contaminación parasitaria que deben ser considerados en los procesos de tratamiento y desinfección.

Diversos estudios demuestran los niveles de contaminación por parásitos en aguas superficiales. LeChevalier y colaboradores (18), que efectuaron una investigación en el este de Estados Unidos, encontraron en 86 muestras ooquistes de *Cryptosporidium* en el 87% y de *Giardia* en el 80%. LeChevalier (19) realizó un estudio en el Canadá y detectó quistes de *Giardia* en 81% de las muestras de agua superficial y de *Cryptosporidium* en 87%, y observó niveles de 2,4 quistes de *Giardia* por litro y 2,7 ooquistes de *Cryptosporidium* por litro.

Rose (20) detectó ooquistes de *Cryptosporidium* en 91% de muestras de aguas residuales, en 77% de muestras de agua de río y de lago y en 83% de muestras de agua prístina⁵.

Chauret (21), en un estudio llevado a cabo en Ottawa en los ríos Rideau, Ottawa y Mississipi, reporta un promedio de 24 ooquistes de *Cryptosporidium*/100 L y de 8 quistes de *Giardia*/100 L. Detectó concentraciones más altas en lugares cercanos a zonas donde se realizaban actividades humanas.

⁵ Prístina es el tipo de agua que se encuentra en zonas aisladas de las actividades humanas; por lo tanto, su calidad no está influenciada por la contaminación de origen antropogénico.

En los trabajos de Rose (22) y LeChevallier (19), en los cuales se analizaron muestras de aguas prístinas, se demostró la importancia del aporte de los mamíferos silvestres y del ganado vacuno que pasta en las cuencas, los que constituyen un reservorio importante de protozoos entéricos.

Es difícil precisar el origen biológico de la contaminación por parásitos en aguas superficiales. Se ha demostrado la presencia de *Giardia* en el ganado vacuno, caballar, en ratas, ratones, castores, chinchillas y otros animales. Se piensa que existen varios reservorios naturales, tanto silvestres como domésticos. Ongerth (23) efectuó un estudio en el cual observó un menor nivel de contaminación por parásitos de un cuerpo de aguas prístinas que el nivel presente en aguas cercanas a zonas donde se desarrollaban actividades humanas.

Giardia y *Cryptosporidium* son protozoarios parásitos de humanos y animales. Numerosos estudios epidemiológicos han demostrado que la vía hídrica es la ruta más importante de transmisión; la ruta a través de los alimentos ha sido demostrada en pocos casos. *Giardia* y *Cryptosporidium* están asociados con aguas de abastecimiento que provienen de fuentes de aguas superficiales.

Para lograr la remoción de protozoarios mediante el tratamiento y la desinfección, se debe considerar lo siguiente:

- La remoción de partículas mediante coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.
- El tratamiento combinado de coagulación con filtración convencional logra una remoción de 99 a 99,99% de quistes y ooquistes. La filtración es la mejor manera de optimizar el proceso (24).
- La filtración rápida no garantiza la remoción de *Giardia* y *Cryptosporidium*.
- Se ha demostrado la presencia de *Cryptosporidium* en el agua de retrolavado de los filtros, por lo que se considera que es una fuente potencial de contaminación.
- El ooquiste de *Cryptosporidium* es 30 veces más resistente al ozono que el quiste de *Giardia*.
- Los quistes de *Giardia* y los ooquistes de *Cryptosporidium* son extremadamente resistentes al cloro y demás desinfectantes en las concentraciones que comúnmente se usan en la desinfección del agua.
- El ozono y el dióxido de cloro son varias veces más efectivos para *Giardia* y *Cryptosporidium* que el cloro libre.

Los reportes mencionan que al menor incremento de la turbiedad en el agua tratada, aumenta el riesgo de transportar partículas con las mismas dimensiones de la *Giardia* y el *Cryptosporidium*. Se observan las siguientes condiciones de riesgo:

- Aguas con turbiedad de 0,7 pueden indicar la presencia de quistes. Ideal es una turbiedad de 0,1 UNT.
- Deficiencias en los filtros.
- Deficiente control de la coagulación y remoción de sólidos.

Existen suficientes pruebas de la transmisión hídrica de *Giardia* y *Cryptosporidium*. En los brotes epidémicos que han sido reportados se observó lo siguiente:

- La mayoría de brotes se han presentado en zonas rurales.
- La fuente de agua fue de origen superficial y no agua de pozo.
- En todos los casos se había efectuado la desinfección del agua con cloro.
- Los brotes se presentaron en localidades con sistemas de filtración rápida e inadecuada floculación o reciclaje de agua de lavado.
- No había evidencia de contaminación del agua de abastecimiento con agua de desagüe.
- Se observó la presencia de ganado vacuno, castores y otros animales en las fuentes de agua.

Debido a que los quistes de *Giardia* y los ooquistes de *Cryptosporidium* se encuentran dispersos en los cuerpos de agua superficial y en los sistemas de agua potable, estos deben ser concentrados. La mayoría de investigadores sugieren de 100 a 1.000 galones de muestra (25); el volumen de muestra necesario para el análisis de *Giardia* y *Cryptosporidium* en el agua aún no está estandarizado.

Uno de los procedimientos de concentración se realiza mediante el equipo de filtración de grandes volúmenes con un cartucho de hilo de polipropileno de un micrómetro de porosidad nominal. Actualmente, para la concentración de *Giardia* y *Cryptosporidium*, la firma Pall Gelman Sciences cuenta con una cápsula completa de muestreo Envirochek. Esto permite la captura y recuperación de *Cryptosporidium* y *Giardia* según el Protocolo ASTM P 229. Con características semejantes a Envirochek, la firma Hach tiene el sistema analítico ProNetic.

Para la identificación, se están usando anticuerpos monoclonales y métodos moleculares muy sensibles, pero que tienen sus limitaciones cuando se emplean en muestras ambientales. Una de las limitaciones es el tamaño de muestra resultante de la extracción, así como el tiempo que toma el procedimiento y el costo.

Recientes estudios han mostrado muy buenos resultados en la detección de protozoarios en muestras ambientales mediante la prueba de PCR combinada con la lisis, extracción, amplificación y detección. Es un método simple, específico y rápido; el sistema captador da al método una alta sensibilidad y especificidad e incluso con un límite de detección muy bajo, el nivel de detección de la técnica de PCR es de un ooquiste/L (26, 27).

El método 1622 de la EPA para la detección de ooquistes de *Cryptosporidium* involucra la filtración, concentración, separación inmuno-magnética, la detección mediante anticuerpos monoclonales y la evaluación en el microscopio de inmunofluorescencia (28, 29).

Aún existe dificultad para determinar la infectividad de los quistes u ooquistes de *Cryptosporidium*. Carreno (30) demostró que varios de los reactivos utilizados en las pruebas —por ejemplo, el etanol— impiden la determinación de dicha capacidad. Recientes estudios a nivel molecular han hecho posible diferenciar los ooquistes patógenos procedentes de humanos de los que tienen otro origen (31).

A continuación se describen los principales protozoarios que podrían ser transmitidos por vía hídrica.

Entamoeba histolytica. Es un protozooario que produce la amebiasis, la disentería amebiana y la hepatitis amebiana. Presenta dos estadios evolutivos bien definidos: el estadio de quiste y el de trofozoíto. El quiste mide entre 3 y 5 micrómetros y es la única forma en la que se observa en aguas superficiales. Tiene forma redonda u oval, es hialino, con pared lisa. El estadio de trofozoíto mide entre 10 y 60 micrómetros y se lo encuentra alojado en el huésped definitivo, el hombre.

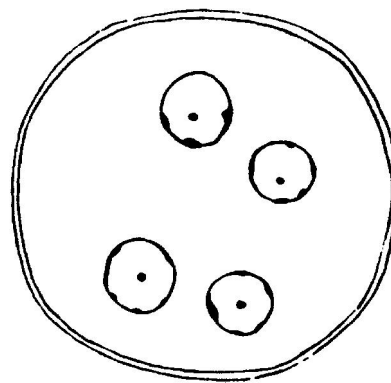


Figura 2-7. Quiste de *Entamoeba histolytica* (16)

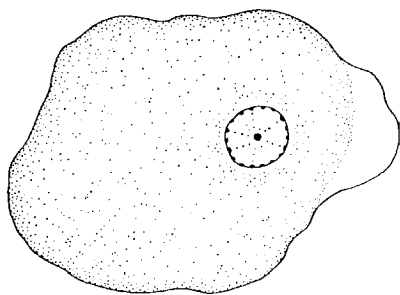


Figura 2-8. Trofozoito de *Entamoeba histolytica* (16)

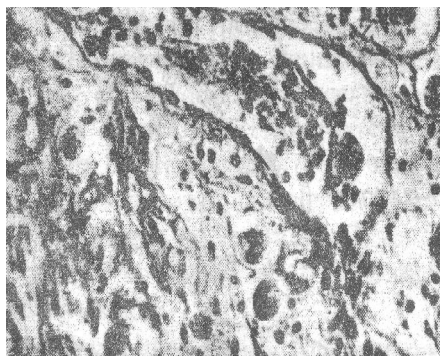


Figura 2-9. Trofozoito de *E. histolytica* en úlcera amebiana intestinal (32)

El trofozoito es una ameba que tiene la capacidad de reproducirse en los tejidos humanos. En el intestino es capaz de lesionar la mucosa intestinal y migrar a otros órganos como el hígado, el pulmón y el cerebro. Los trofozoítos se ubican en el intestino y posteriormente se transforman en quistes y salen al exterior con las heces. Estos quistes se dispersan en el ambiente y contaminan las aguas superficiales, el suelo y los alimentos.

La infección se realiza por ingesta de los quistes con el agua o los alimentos. Los quistes son sumamente resistentes a los factores ambientales; en cambio, el estadio de trofozoito no es capaz de sobrevivir en el medio fuera del huésped. También es posible la transmisión directa de persona a persona.

Balantidium coli. Es un protozooario ciliado⁶ que produce la enfermedad denominada *balantidiasis*, *balantidiosis* o *disentería por balantidios*.

Presenta dos estadios evolutivos bien definidos: el estadio de quiste y el de trofozoito. El quiste mide aproximadamente 55 micrómetros de diámetro. El quiste sin teñir es amarillo verdusco. Solo posee macronúcleo⁷, vacuolas contráctiles⁸ y cilios⁹.

⁶ Un *protozooario ciliado* posee cilios que le permiten moverse.

⁷ El *macronúcleo* es un organelo que sirve para la reproducción y nutrición de los protozoarios ciliados.

⁸ *Vacuolas contráctiles*: órganos excretores de los animales unicelulares.

⁹ *Cilios*: pestañas vibrátiles localizadas en toda la superficie del ciliado; tienen función locomotora.

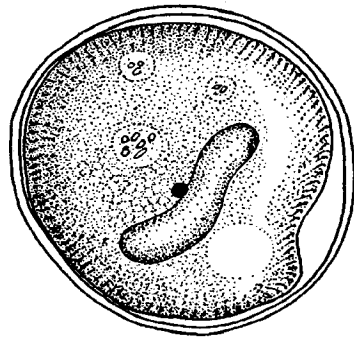


Figura 2-10. Quiste de *Balantidium coli* (33)

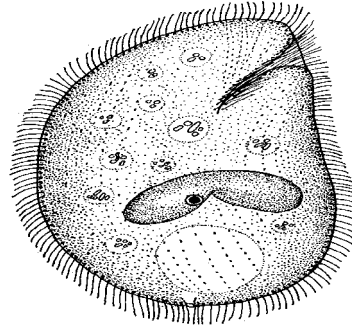


Figura 2-11. Trofozoito de *Balantidium coli* (33)

Se aloja en los huéspedes —el cerdo y el hombre— en el estado de trofozoíto. También se ha detectado en monos y ratas. La enfermedad humana es la menos frecuente.

El trofozoíto es ciliado. Mide entre 50 y 200 micrómetros de largo por 41-70 micrómetros de ancho. Cuando infecta el intestino, ocasiona lesiones en la pared intestinal, produce úlceras, a veces perfora la pared intestinal. En el intestino, los trofozoítos se enquistan y los quistes salen al exterior con las heces. Estos quistes se dispersan en el ambiente y contaminan las aguas superficiales, los suelos y los alimentos.

La infección se realiza mediante la ingesta de los quistes con el agua o alimentos. Los quistes son muy resistentes a los factores ambientales. El estadio de trofozoíto no es capaz de sobrevivir fuera del huésped. También es posible la transmisión directa de persona a persona.

Giardia lamblia. Agente etiológico de la giardiasis, llamada también *lamblisis*. Es un

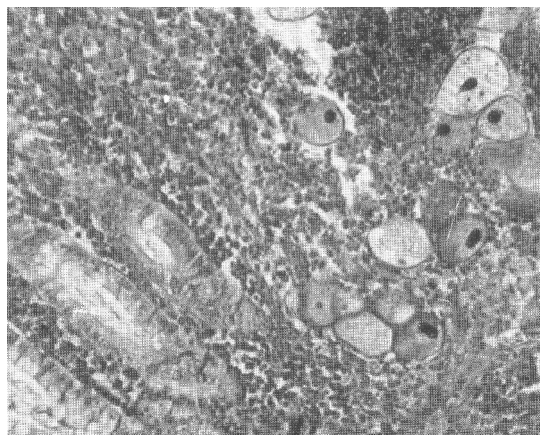


Figura 2-12. Trofozoítos de *B. coli* en úlcera intestinal (16)

protozoo flagelado¹⁰ que presenta dos estadios evolutivos: el quiste y el trofozoíto. El quiste es la forma en la que se presenta en aguas superficiales. Tiene forma elipsoide, mide de 9 a 12 micrómetros, su pared es lisa, tiene dos o cuatro núcleos, dos axostilos¹¹ que se tiñen intensamente con colorantes como el lugol.

El estadio de trofozoíto se encuentra en el huésped, que es el hombre. Mide de 12 a 15 micrómetros de largo, es piriforme¹², con simetría bilateral¹³, el extremo anterior ancho y redondo y el extremo posterior termina en punta. En la parte ventral tiene un disco succionario¹⁴, dos núcleos, dos axostilos, dos cuerpos parabasales y cuatro flagelos.

El trofozoíto se ubica en el duodeno y las primeras porciones del yeyuno. El parásito absorbe el alimento del contenido intestinal y de las células epiteliales del intestino. Produce inflamación y trastorna la absorción de la vitaminas y grasas.

Tanto los trofozoítos como los quistes salen al exterior con las deposiciones del huésped, se dispersan en el ambiente y contaminan las aguas superficiales, los

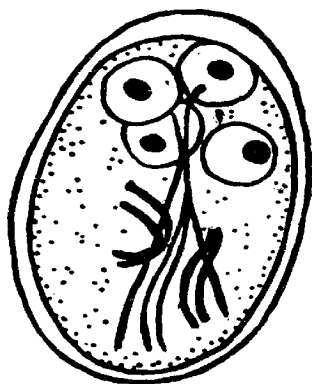


Figura 2-13. Quiste de *Giardia lamblia* (16)

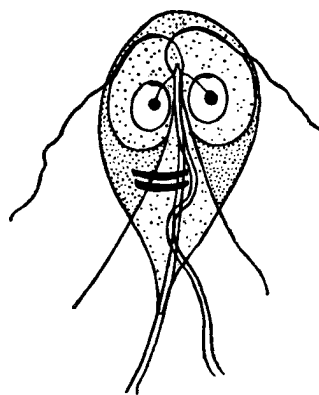


Figura 2-14. Trofozoíto de *Giardia lamblia* (16)

¹⁰ Un *protozoo flagelado* posee organelos en forma de látigo, que le sirven para el movimiento y para atraer partículas alimenticias.

¹¹ *Axostilos* son organelos rígidos que se encuentran en el citoplasma de los flagelados.

¹² Es decir, tiene forma de pera.

¹³ Es decir, ambas mitades del parásito son iguales.

¹⁴ El *disco succionario* es un organelo de estructura muscular que funciona a manera de ventosa; tiene función de fijación.

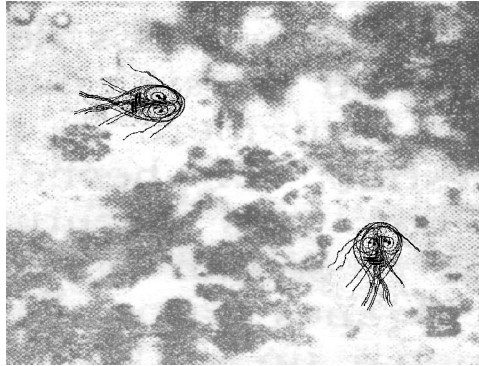


Figura 2-15. Trofozoítos de *Giardia lamblia* en sondeo duodenal
(Adaptación de [32])

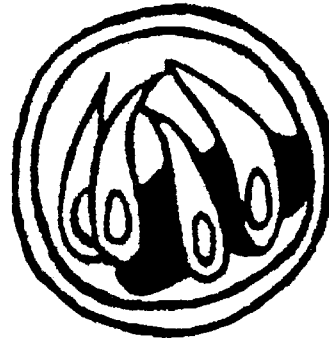


Figura 2-16. Quiste de *Cryptosporidium parvum* (34)

suelos y los alimentos. El trofozoíto muere rápidamente y los quistes sobreviven a las condiciones ambientales.

Los quistes llegan hasta el hombre mediante la ingestión de agua o alimentos contaminados. Se ha demostrado que los quistes son sumamente resistentes a la desinfección con cloro y sobreviven en el ambiente durante varios meses.

El tiempo de supervivencia de los quistes en el agua depende de la temperatura. Pueden sobrevivir por periodos mayores a 77 días a temperaturas de 20 °C. Se ha reportado como punto térmico letal 54 °C (35).

Cryptosporidium. Agente etiológico de la cryptosporidiasis. Es un protozooario coccidio que presenta dos estadios evolutivos: el ooquiste, que mide de 5 a 6 micrómetros, es de pared gruesa y tiene cuatro esporozoítos¹⁵, y el trofozoíto.

El trofozoíto se reproduce asexual y sexualmente. Algunos zigotos¹⁶ evolucionan a ooquistes. El trofozoíto y las formas sexuales y asexuales del parásito se localizan en el intestino delgado.

¹⁵ *Esporozoíto* es un estadio de reproducción asexual.

¹⁶ *Zigoto* es un estadio de reproducción sexual.

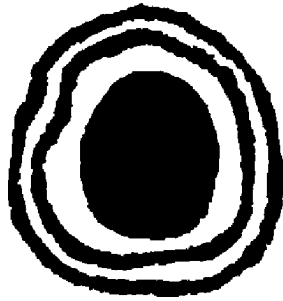


Figura 2-17. Trofozoíto de *Cryptosporidium parvum* (34)



Figura 2-18. Esporozoítos de *Cryptosporidium parvum* en mucosa intestinal (34)

Produce infiltración mononuclear y atrofia de las vellosidades intestinales. La enfermedad es persistente en las personas inmunodeprimidas. Se ha demostrado que en pacientes con sida los cuadros clínicos persisten por muchos meses y pueden conducirlos a la muerte por deshidratación.

Los ooquistes salen con las heces y contaminan el agua y los alimentos. Son persistentes en el ambiente y resistentes a la desinfección con cloro. La remoción por pretratamiento químico y la filtración son barreras importantes para remover los ooquistes del agua.

Cuando falla una de estas medidas, se pueden ocasionar brotes de gran magnitud en la población. Se ha demostrado que el *Cryptosporidium* es resistente a las concentraciones de cloro que normalmente se usan para la desinfección de agua. Recientes investigaciones han concluido que el dióxido de cloro es más eficiente que el cloro libre residual para la inactivación de los ooquistes de *Cryptosporidium* (36).

2.4.2 Helminos enteropatógenos

Los helmintos son animales invertebrados, vermiformes¹⁷, a los que comúnmente se les denomina *gusanos*. En las aguas superficiales se pueden presentar huevos de dos grupos de helmintos: Nematodos y Platelminos. En el agua pueden estar presentes otros tipos de helmintos patógenos, pero su transmisión no ocurre a través del agua de bebida.

¹⁷ *Vermiforme*: de forma de gusano.

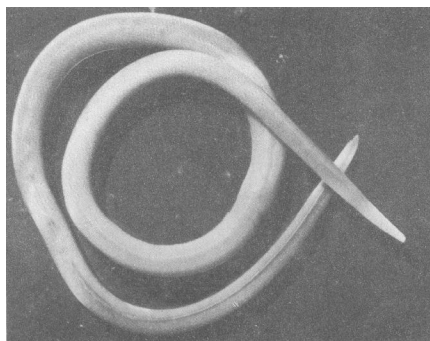


Figura 2-19. Adulto de *Ascaris lumbricoides* (16)

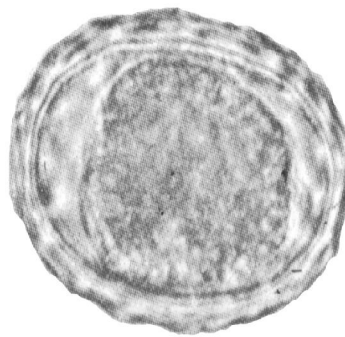


Figura 2-20. Huevo de *Ascaris lumbricoides* (16)

Los Nematodos son gusanos redondos, como el *Ascaris lumbricoides*, y los Platelminfos son acintados, como la *Taenia solium*.

Ascaris lumbricoides. Es el agente etiológico de la ascariasis. Es un Nematodo que presenta diferenciación sexual: la hembra mide aproximadamente 30 centímetros y el macho 15 centímetros. Tiene los extremos aguzados y es de color rosa nacarado. La hembra puede desovar aproximadamente 200.000 huevos por día.

Los huevos son de color parduzco y los fecundados tienen forma elíptica, miden de 45 a 75 micrómetros de largo y de 35 a 50 micrómetros de ancho. Tienen una cubierta externa gruesa de superficie mamelonada¹⁸ y de color café. Los huevos deben madurar en el suelo antes de ser infectivos.

El hombre se infecta con este helminto al ingerir agua y verduras contaminadas con huevos de *Ascaris*. En el organismo humano cumplen un complicado mecanismo de desarrollo hasta que los adultos se instalan en el intestino delgado.

Las infestaciones masivas pueden causar síndrome de mala absorción con alteraciones en la absorción de grasas, proteínas e hidratos de carbono. En otros individuos se presentan cuadros de hipersensibilidad.

¹⁸ Es decir, no lisa sino con una serie de lóbulos muy pronunciados.

Trichuris trichiura. Es el agente etiológico de la tricocéfalosis. Es un Nematodo blanquecino que presenta diferenciación sexual. La hembra mide de 35 a 50 milímetros de largo y el macho, de 20 a 25 milímetros.

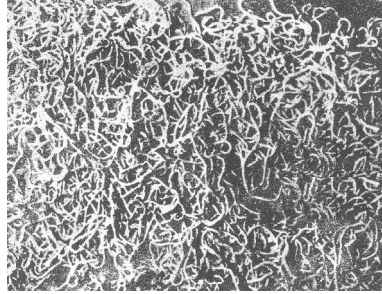


Figura 2-21. Obstrucción intestinal de *A. lumbricoides* en un niño de 2 años (32)

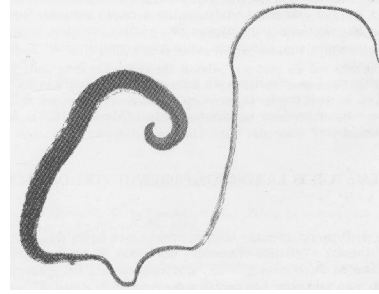


Figura 2-22 Adulto de *Trichuris trichiura* (16)

Es delgado en la parte anterior y grueso en la parte posterior. Se ha calculado que cada hembra elimina entre 200 y 300 huevos por gramo de heces.

Los huevos son elípticos de color parduzco, miden entre 40 y 50 micrómetros y presentan una gruesa envoltura de doble contorno. En ambos polos tienen tapones mucosos que confieren al huevo un aspecto típico de tonel.

El huevo debe desarrollarse en el ambiente para ser infectivo, presenta una gran resistencia a las condiciones adversas del ambiente y puede conservar su viabilidad durante años.



Figura 2-23. Huevo de *Trichuris trichiura* (16)



Figura 2-24. Infección masiva con miles de adultos de *Trichuris trichiura* en el intestino grueso (32)



Figura 2-25. Escólex de *Taenia solium* (16)

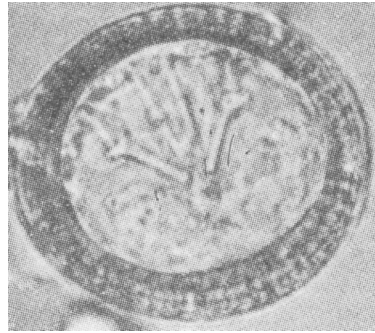


Figura 2-26. Huevo de *Taenia* sp. (16)

El daño de la tricocefalosis es directamente proporcional al número de especímenes presentes en el intestino. La tricocefalosis masiva puede producir anemia e interfiere en la absorción intestinal.

El único huésped es el hombre, quien se infecta al ingerir agua y alimentos contaminados con huevos de *Trichuris trichiura*.

Taenia solium. La *Taenia solium* produce la teniasis y la cisticercosis. El cerdo es el huésped definitivo habitual. Es un Cestodo¹⁹. El espécimen adulto mide de 3 a 5 metros de longitud, presenta un escólex²⁰ armado con una corona de ganchos con los cuales se fija al intestino. El hombre se infecta al ingerir carne de cerdo mal cocida, pero también puede contaminarse con la ingestión de huevos de *Taenia solium* y adquirir la enfermedad llamada cisticercosis. Es esta forma la que puede ser transmitida por el agua de bebida.

El hombre puede adquirir la cisticercosis por la ingestión de huevos de *Taenia* en el agua o en los alimentos. Los huevos miden entre 30 y 40 micrómetros de diámetro, son esféricos, de paredes gruesas y radiadas y en su interior encierran un embrión provisto de seis ganchos, llamado embrión hexacanto. Esta es la forma infectiva para el huésped intermediario.

¹⁹ Los Cestodos son una clase de Platelminfos que tienen forma de cinta.

²⁰ El escólex es un órgano de los Cestodos que les sirve para fijarse al intestino del huésped.

Una vez en el intestino, el embrión penetra en la mucosa intestinal, cae a los vasos sanguíneos y es conducido por la sangre a varios órganos. Los cisticercos se pueden ubicar, en el hombre, en el tejido celular subcutáneo, en la musculatura esquelética, en el sistema nervioso central y sus anexos, en el corazón, el hígado, el pulmón, etcétera. Los daños que causa una cisticercosis dependen del órgano afectado y de otros factores propios de la parasitosis. Cualquiera que sea su localización, los signos y los síntomas de la cisticercosis son los de un tumor que afecta al órgano comprometido.

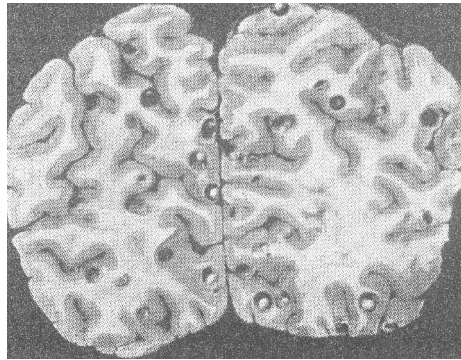


Figura 2-27. Cisticercosis cerebral (16)

2.5 Cyanobacterias (algas azul-verdes)

Las afloraciones de Cyanobacterias son muy comunes en los lagos y reservorios que sirven de fuente de agua. Estas bacterias son capaces de producir dos tipos de toxinas ampliamente conocidas, las microcystinas o hepatotoxinas, producidas por *Microcystis*, *Oscillatoria* y *Anabaena*, y las neurotoxinas producidas por *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nostoc* y *Cylindrospermum*. Las toxinas pueden producir gastroenteritis en la población y las hepatotoxinas pueden ocasionar muerte por *shock*.

Las microcystinas son solubles en agua. Se han aislado aproximadamente 60 variedades de microcystinas en afloramientos y cultivos de Cyanobacterias, y se ha observado que con un pH neutro, la microcystina es estable y se pueden presentar remanentes después del hervido (37).

El excesivo crecimiento de las Cyanobacterias es producido frecuentemente por el deterioro de la

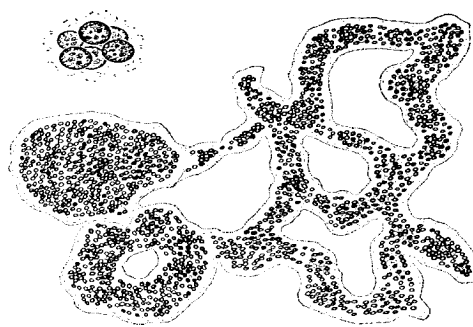


Figura 2-28. *Microcystis aeruginosa* (3)

calidad de las aguas. A menudo este deterioro se origina en las actividades antropogénicas y por el enriquecimiento de nutrientes de origen natural. Las toxinas, además de causar efectos adversos para la salud de los seres humanos y de los animales terrestres, pueden causar efectos crónicos y agudos en la fauna acuática (37).

Hay un número no confirmado de reportes sobre problemas de salud causados por toxinas algales y relacionados con el agua de bebida. Estudios epidemiológicos y de casos aislados de gastroenteritis y hepatitis relacionados con Cyanobacterias han sido reportados en Norteamérica, África, Australia y América del Sur (38). Falconer también presenta evidencias acerca de la toxicidad de las Cyanobacterias. Este autor efectuó un estudio en una comunidad australiana en la que observaron lesiones en el hígado en un grupo de individuos que ingerían agua proveniente de un reservorio local en el que comúnmente ocurrían afloramientos de *Microcystis aeruginosa*.

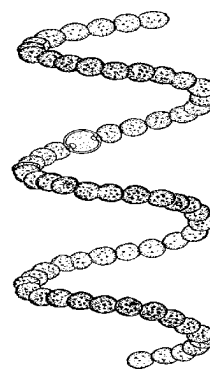


Figura 2-29. *Anabaena* sp. (3)

En 1996 en Caruaro, Brasil, un grupo de pacientes en hemodiálisis experimentó una hepatitis severa después del tratamiento; más de 100 individuos presentaron un cuadro hepático grave y 50 de ellos murieron. Se efectuó una investigación y se demostró que había insuficiencias en la remoción de las microcystinas en el tratamiento del agua utilizada para la hemodiálisis (39).

Algunos investigadores sugieren que la exposición crónica a través del agua de bebida a las microcystinas puede inducir al crecimiento de tumores o carcinogénesis. La Organización Mundial de la Salud propone 1.000 ng/L como valor guía para las microcystinas en el agua de consumo humano (40).

Estudios efectuados por Karner (39) demuestran que con un tratamiento convencional que incluya sedimentación y filtración se logra una remoción de 1 a 3 log de la concentración de microcystinas. La adición de un pretratamiento químico con sulfato de cobre o permanganato de potasio reduce las microcystinas en un promedio de 61%. La coagulación con aluminio seguida de una sedimentación reduce un promedio de 96%. También se ha obtenido una buena remoción de toxinas con carbón activado. Estos estudios se han efectuado observando solo la

remoción de microcystinas. Se requiere conocer el comportamiento de los otros tipos de toxinas producidas por las Cyanobacterias.

El uso de alguicidas debe efectuarse con criterio técnico, debido a que, como su nombre lo dice, ocasionan la muerte masiva de algas y es posible que su uso inadecuado conduzca a la producción de olores desagradables y a una alteración del sabor del agua en los reservorios.

2.6 Organismos cuya presencia en el agua tratada origina reclamos en los usuarios

Frecuentemente, en las fuentes de agua y en los reservorios se presentan animales invertebrados de vida libre y algas que pueden pasar a los sistemas de distribución de agua tratada, generalmente debido a fallas en la filtración, y su presencia en el agua de consumo puede causar pánico en la población u originar un incremento de la turbiedad, alteraciones en el sabor y el olor o afectar la calidad estética del agua.

Estos invertebrados no son patógenos, pero representan un riesgo de transporte de agentes microbianos. Una de las causas es que el cloro actúa en forma limitada sobre ellos y no ejerce ningún efecto sobre las partículas, en cuyos intestinos y otros órganos podrían encontrarse incorporados microorganismos.

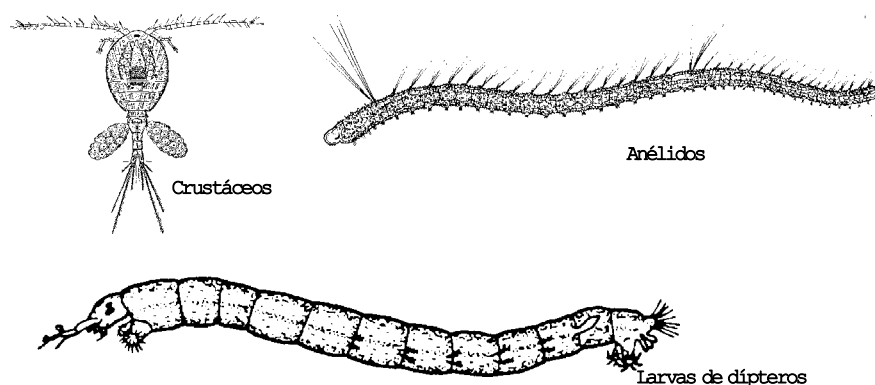


Figura 2-30. Organismos de vida libre (3)

Se han identificado dos grupos de invertebrados que deben ser controlados en un sistema de abastecimiento: los invertebrados que nadan libremente en el agua y los que se mueven a lo largo de la superficie o están adheridos a ellas, y los que viven en el limo. En el primer grupo están los Copépodos como el *Cyclops* y otros Crustáceos como el *Gammarus*. El segundo grupo incluye a los Bryozoos como la *Plumatella*, a los *Nais*, nemátodos de vida libre, y a las larvas de *Chironomidos*.

En estaciones de verano los filtros de arena pueden tener problemas con la sobrepoblación de larvas de dípteros como *Chironomidos* y *Culex*. Su presencia puede causar problemas en los filtros debido a que los filtros pueden colapsar y causar un arrastre del agua no filtrada.

La solución de este problema es compleja y debe tener en cuenta el hábitat de la especie predominante y su ciclo de vida, además de los riesgos ambientales y para la salud humana que pueden derivarse de la aplicación de biocidas.

Se ha demostrado que las infestaciones por Bryozoos pueden ser tratadas con una dosis alta de cloro a 10 mg/L durante 24 horas, seguida de un enjuague de las paredes a presión. También se usa permetrina. La dosis no debe exceder de 10 mg/L por un lapso de 14 a 48 horas, pero el agua tratada no debe descargarse a los cursos de agua debido a que con esta concentración es tóxica para peces y otras formas de vida acuáticas. Antes de ser eliminada, el agua debe recibir tratamiento. También se debe tener en cuenta que las personas con diálisis renal no pueden ser atendidas con agua tratada con permetrina (6).

2.7 Indicadores microbiológicos de la calidad del agua

La gran variedad de microorganismos patógenos que pueden encontrarse en una muestra de agua, así como la complejidad de la mayor parte de las técnicas de enriquecimiento y aislamiento e identificación, hacen inviable el control rutinario de todos estos microorganismos. Por esta razón se hizo necesario elegir microorganismos indicadores, que deben cumplir con los siguientes requisitos básicos:

- Ser fáciles de cultivar en el laboratorio.
- Ser relativamente inocuos para el hombre y los animales.
- Su concentración debe tener relación con la cantidad de microorganismos patógenos presentes en el agua.

La evaluación de la calidad microbiológica del agua de abastecimiento humano se efectúa mediante la determinación de indicadores. Los que comúnmente se utilizan son los coliformes totales, los coliformes termotolerantes (fecales), la *Escherichia coli* y las bacterias heterotróficas mesófilas aerobias viables.

Se han efectuado interesantes estudios con el objeto de conocer la relación que existe entre la presencia de determinados indicadores de contaminación en el agua de bebida y la prevalencia de enfermedades diarreicas.

Moe y colaboradores (41) efectuaron un estudio epidemiológico en Cebu (Filipinas). Durante un año se realizó el control de la calidad del agua con cuatro indicadores bacterianos (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, enterococos y estreptococos fecales) y se efectuó un seguimiento epidemiológico de los cuadros de diarrea en niños menores de 2 años. Se observó una tasa altamente significativa de enfermedades diarreicas solamente en los niños que bebían agua con *Escherichia coli* en concentraciones mayores a 100/100 mL.

Esto sugiere que en los países en vías de desarrollo en los cuales la calidad del agua es de buena a regular —es decir, agua con ausencia o escaso número de *Escherichia coli*— y donde se presenta una alta tasa de enfermedades diarreicas producidas por microorganismos hidrottransmisibles, hay otros mecanismos que cumplen un rol importante en la transmisión de dichas enfermedades. Entre estos mecanismos están las condiciones de almacenamiento del agua y la forma de preparar y almacenar los alimentos que han estado en contacto con el agua contaminada. Estos factores favorecen la multiplicación de algunas bacterias patógenas procedentes del agua contaminada y la producción de toxinas, lo cual incrementa la tasa de enfermedades diarreicas.

Grupo colifome. Los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprofitos en el ambiente, excepto la *Escherichia*, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación. Este grupo de microorganismos pertenece a la familia de las enterobacteriáceas. Se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37 °C en un lapso de 24-48 horas y producir ácido y gas. Los siguientes géneros conforman el grupo coliforme:

- Klebsiella
- Escherichia

- Enterobacter
- Citrobacter
- Serratia

De este grupo, la *Escherichia* y ocasionalmente la *Klebsiella* tienen la capacidad de fermentar la lactosa no solo a las temperaturas indicadas, sino también a 44,5 °C. A los miembros de este grupo se les denomina *coliformes termotolerantes* (fecales).

Coliformes totales. Los coliformes totales se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37 °C en 24-48 horas y producir ácido y gas. Tienen la enzima cromogénica B galactosidasa, que actúa sobre el nutriente indicador ONPG²¹. Este nutriente sirve como fuente de carbono y su efecto consiste en un cambio de color en el medio de cultivo. La reacción se detecta por medio de la técnica de sustrato definido. Las técnicas de análisis más conocidas son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana.

Los coliformes totales se reproducen en el ambiente, proporcionan información sobre el proceso de tratamiento y acerca de la calidad sanitaria del agua que ingresa al sistema y de la que circula en el sistema de distribución. No constituyen un indicador de contaminación fecal.

Coliformes termotolerantes (fecales). Se sabe que la contaminación fecal del agua está relacionada con la transmisión de agentes patógenos por el agua. Por este motivo, se requieren métodos sensibles que permitan medir el grado de contaminación fecal.

Se denomina *coliformes termotolerantes* a ciertos miembros del grupo de bacterias coliformes totales que están estrechamente relacionados con la contaminación fecal. Por este motivo, antes recibían la denominación de *coliformes fecales*; estos coliformes generalmente no se multiplican en los ambientes acuáticos.

Los coliformes termotolerantes crecen a una temperatura de incubación de 44,5 °C. Esta temperatura inhibe el crecimiento de los coliformes no tolerantes. Se miden por pruebas sencillas, de bajo costo y ampliamente usadas en los programas de vigilancia de la calidad del agua. Las técnicas de análisis más

²¹ ONPG: Orto-nitrofenil-β-d-galactopiranosido.

conocidas son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana; actualmente el mercado ofrece otras técnicas más avanzadas, pero el empleo de las técnicas tradicionales está aprobado por los estándares internacionales.

Escherichia coli. Es el principal indicador bacteriano en el agua. Diversos estudios han demostrado que la *E. coli* está presente en las heces de los seres humanos y los animales de sangre caliente entre 10^8 y 10^9 por gramo de heces. No se multiplican en forma apreciable en el ambiente.

La *E. coli* fermenta la lactosa y produce ácido y gas. Tiene la enzima cromogénica B glucuronidasa, que actúa sobre el nutriente indicador MUG²². Este nutriente sirve como fuente de carbono y su efecto se visualiza por la fluorescencia en el medio de cultivo. La reacción se detecta mediante la técnica de sustrato definido.

Con esta última técnica, es posible analizar *E. coli* directamente del agua. Su importancia como organismo indicador de contaminación fecal está adquiriendo más fuerza (43).

Recuento en placa de bacterias heterotróficas mesófilas viables. El recuento en placa de bacterias heterotróficas detecta una amplia variedad de microorganismos, principalmente bacterias que son indicadoras de la calidad microbiológica general del agua.

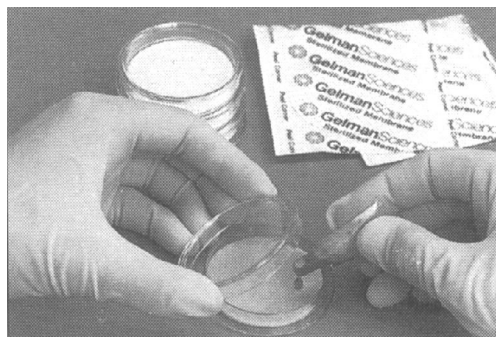


Figura 2-31. Técnica de filtración con membrana (42)

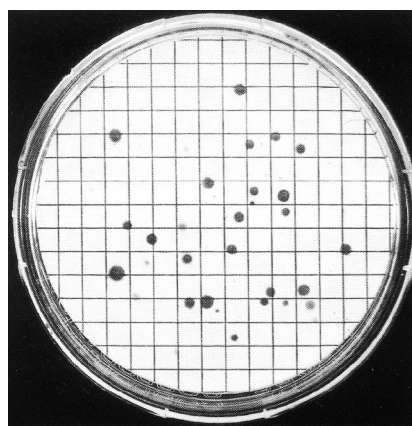


Figura 2-32. Coliformes fecales por el método de membrana (42)

²² MUG: 4-metil-umbeliferil β -d-glucoronico.

Se ha comprobado que el conteo total es uno de los indicadores más confiables y sensibles del tratamiento o del fracaso de la desinfección. Para su determinación, se emplea una prueba sencilla y de bajo costo. Los métodos son vertido en placa, difusión en superficie y filtración con membrana. Se emplea un medio de cultivo rico en nutrientes, como el extracto de levadura. La incubación se realiza durante 48 horas a 35 °C.

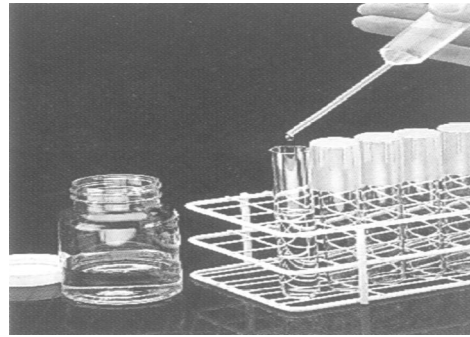


Figura 2-33. Técnica del número más probable por tubos múltiples (44)

Como se puede apreciar, la evaluación de la calidad microbiológica está basada en la determinación de indicadores bacterianos: coliformes totales y coliformes termotolerantes, los cuales son removidos con mayor facilidad que los quistes de protozoarios. Esto quiere decir que la ausencia de coliformes no indica en forma absoluta la ausencia de quistes. Ante un brote epidémico de enteroparásitos, no bastaría la determinación de coliformes, sobre todo cuando el agua es de origen superficial y ha sido sometida únicamente a la desinfección.

A partir de numerosos estudios, se ha encontrado que en el agua superficial sin tratamiento existe una buena correlación entre la presencia de algas y la de protozoarios enteroparásitos y, en el agua tratada, entre la presencia de protozoarios y los niveles de turbiedad, así como con el conteo de partículas de 5 micrómetros (21).

3. CRITERIOS BIOLÓGICOS DE CALIDAD PARA LA SELECCIÓN DE UNA FUENTE DE AGUA CRUDA

Es más seguro obtener un suministro de agua con calidad satisfactoria para el consumo humano cuando se utilizan fuentes de agua con baja o nula contaminación y se tiene en cuenta su variabilidad en caudal y calidad.

La calidad bacteriológica del agua, relacionada con los niveles de contaminación fecal, es una de las variables que se tienen en cuenta para la selección de la fuente. Otra variable con igual importancia es el tipo de tratamiento que técnica y económicamente se puede adoptar.

La contaminación fecal de los cursos de agua es un aspecto que tiene singular importancia cuando se evalúan los cursos de agua a fin de considerarlos como posibles fuentes. El proyecto del Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente de la OMS y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente ha evaluado la calidad de los recursos de agua dulce en todo el mundo y ha podido comprobar que solo 19% de los 105 ríos evaluados en el proyecto tienen niveles de contaminación por coliformes termotolerantes inferiores a 100/100 mL (OPS, 1996). En la siguiente tabla se pueden apreciar las frecuencias de los valores encontrados:

Cuadro 2-2. Contaminación por coliformes termotolerantes en los cursos de agua por regiones del mundo

Número de coliformes termotolerantes por 100 mL	Número de ríos en cada región			
	América del Norte	América Central y del Sur	Europa	Asia-Pacífico
< 10	8	-	1	1
11-100	4	1	3	2
101-1.000	8	10	9	14
1.001-10.000	3	9	11	10
10.001-100.000	-	2	7	2
Total de ríos	23	22	31	29

Fuente: OPS/OMS, *La calidad del agua en América Latina*, Publicación Científica N.º 524, 1990.

Ante estos niveles de contaminación fecal de los cursos de agua, la Organización Mundial de la Salud recomienda la protección de las fuentes de agua y la adecuada selección del tipo de tratamiento para asegurar la ausencia de patógenos y evitar la transmisión de enfermedades hídricas. El grado de tratamiento requerido depende de la naturaleza del contaminante y del nivel de contaminación fecal de la fuente.

Teniendo en cuenta solo los niveles de contaminación fecal, se recomiendan los siguientes tratamientos:

Cuadro 2-3. Tratamientos recomendados según el nivel de contaminación fecal

Tipo de fuente de agua	<i>Escherichia coli</i> /100 mL	Tratamiento recomendado
Cuencas protegidas y libres de contaminación fecal	< 20	Desinfección
Cuencas no protegidas y con contaminación fecal	> 20 – 2.000	Filtración y desinfección
Alta contaminación fecal	> 2.000 – 20.000	Filtración, desinfección más la adición de un tercer proceso
Muy alta contaminación fecal	> 20.000	No recomendada como fuente de agua

Fuente: (6).

La adecuada selección de la fuente de agua y la adopción de las medidas de protección tanto en el curso de agua como en los embalses permitirá limitar la inversión en costosos y complejos tratamientos.

4. EL AGUA POTABLE. ASPECTOS BIOLÓGICOS

El agua potable no debe contener agentes patógenos que puedan afectar la salud del consumidor. Específicamente, los indicadores de contaminación fecal, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* no deben estar presentes en 100 mL de muestra. Esta calidad debe mantenerse desde que el agua sale de la planta de tratamiento —o de la fuente de agua, en el caso de aguas de origen subterráneo— hasta llegar al consumidor.

Las causas de la aparición de brotes epidémicos transmitidos por el agua de consumo son la falta de protección de las fuentes de agua, el tratamiento en plantas que carecen de una adecuada operación y mantenimiento, y deficiencias en las redes de distribución (45).

La buena calidad microbiológica del agua potable debe mantenerse en toda la red de distribución y esto se logra mediante una adecuada presión en todo el sistema, el mantenimiento de la red y el control del nivel de cloro residual, un programa de vigilancia y control de la calidad del agua y la incorporación de

programas de control de las conexiones cruzadas que incluya inspecciones periódicas, entre otras actividades.

Recientes evidencias han demostrado que la intrusión en el sistema de distribución es frecuente y es necesario considerar las variaciones que experimente la calidad del agua. Besner (46) propuso un modelo de simulación que identifica los factores responsables de las variaciones de la calidad del agua y al aplicarlo pudo deducir que a temperaturas mayores de 20 °C y niveles de cloro entre 0,01 y 0,03 mg/L se pueden presentar coliformes en el agua de abastecimiento. Las probabilidades se incrementan si se presenta un flujo que produzca un arrastre de sedimento.

En las últimas décadas se ha reportado una variedad de brotes epidémicos de enfermedades hídricas atribuidas a deficiencias en el sistema de distribución. Los patógenos que con mayor frecuencia se presentaron en estos brotes fueron *Giardia*, *Salmonella*, virus *Norwalk*, *Shigella*, *Campylobacter*, hepatitis A, *E. coli* O157:H7 y *Cyclospora* (45). La contaminación del agua potable ocurrió por dos causas: conexiones cruzadas y retrosifonaje debido a instalaciones inapropiadas y a un inadecuado mantenimiento.

5. LAS GUÍAS DE CALIDAD DE LA OMS ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS

Una de las metas de la OMS es que todas las personas logren, por derecho, tener acceso a un suministro adecuado de agua de bebida segura; es decir, que no represente ningún riesgo para la salud.

Las enfermedades transmitidas por el agua o por medios afines figuran entre las tres causas principales de enfermedad y muerte en el mundo y contribuyen a la elevada mortalidad infantil, la reducida esperanza de vida y la mala calidad de vida. Estas enfermedades podrían prevenirse si se adoptaran medidas eficaces para evitar la transmisión. Entre estas medidas una de las más importantes es el suministro de agua potable en cantidad y calidad apropiada para el abastecimiento humano.

Es difícil contar con estudios epidemiológicos que permitan conocer profundamente los riesgos para la salud que representa un determinado nivel de patógenos en agua, debido a que la infección depende de múltiples factores como

conocer el grado de infectividad del patógeno y el grado de inmunidad de los consumidores.

Las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la OMS indican que no es práctico monitorear cada agente patógeno que está en el agua y que el enfoque más lógico es detectar organismos que por lo general se encuentran en las heces de los seres humanos y de los animales de sangre caliente.

En las guías se mencionan dos tipos de indicadores microbiológicos: los coliformes termotolerantes y los coliformes totales y, como organismo indicador de mayor precisión para detectar la contaminación fecal, la *Escherichia coli*. Las guías establecen que el agua de bebida no debe contener agentes patógenos que puedan ser transmitidos a los seres humanos mediante la ingestión del agua y propone que los coliformes termotolerantes o *E. coli* no deben estar presentes en 100 mililitros de muestra en el agua tratada, tanto la entubada como la transportada en camiones cisterna o almacenada en reservorios de agua potable. En el caso de sistemas de suministro en los cuales se cuenta con un programa de vigilancia que considera un número de muestras y una frecuencia adecuada, se acepta la presencia de coliformes totales en el sistema de distribución en un máximo de 5% de las muestras tomadas en un periodo de 12 meses.

La vigilancia de la calidad del agua efectuada a través de la medición de los parámetros antes mencionados garantiza, con las limitaciones y el grado de incertidumbre que conlleva la aplicación de cualquier sistema de vigilancia, que el agua está libre de microorganismos infecciosos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) OPS, OMS. 1996. *La calidad del agua potable en América Latina. Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química*. Washington D. C.: Ilsi Press.
- (2) Acleto, C. y Zúñiga, R. 1998. *Introducción a las algas*. Lima: Escuela.
- (3) Streble, H. y Krauter, D. 1987. *Atlas de los microorganismos de agua dulce*. Barcelona: Omega.
- (4) Fujioka, R. S. y Yonoyama, B. S. 2001. Assessing the Vulnerability of Groundwater Sources to Fecal Contamination. *Journal of the American Water Works Association*, agosto, pp. 62-71.
- (5) Difco Laboratorios. 1996-1997. Product Catalog for Microbiology.
- (6) OMS. 1992. Guidelines for Drinking Water Quality. Vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Pathogenic Agents. Ginebra: OMS.
- (7) Rivera, I. N.; Chun, J.; Huq, A.; Sack, R. B. y Colwell, R. R. 2001. Genotypes Associated with Virulence in Environmental Isolates of *Vibrio cholerae*. *Applied and Environmental Microbiology* 67:6, pp. 2421-2429.
- (8) Chalmers, R. M.; Aird, H. y Boltom, F. J. 2000. Waterborne *Escherichia coli* O157. *Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement* 88, pp. 124S-132S.
- (9) Buchanan, R. L. y Doyle, M. P. 1997. Foodborne Disease Significance of *Escherichia coli* O157: H7 and Other Enterohemorrhagic *E. coli*. *Foodtechnology* 51:10, pp. 69-76.
- (10) Isaacson, M.; Canter, P. H.; Effler, P.; Arntzen, I.; Bomans, P. y Heenan, R. 1993. Haemorrhagic Colitis Epidemic in Africa. *Lancet* 341, pp. 961.
- (11) Villee, C. A. 1966. *Biología*. México: Interamericana.

-
- (12) Lucena, F.; Bosch, A.; Jofre, J. y Schwartzbrod, L. 1985. Identification of Viruses Isolated from Seawater in Barcelona. *Water Research* 19:10, pp. 1237-1239.
 - (13) Jiang, S.; Noble, R. y Chu, W. 2001. Human Adenoviruses and Coliphages in Urban Runoff-Impacted Coastal Waters of Southern California. *Applied and Environmental Microbiology* 67:1, pp.179-184.
 - (14) Queiroz, A. P. S.; Santos, F. M.; Sassaroli, A.; Harsi, C. M.; Monezi, T. A. y Mehnert, D. U. 2001. Electropositive Filter Membrane as an Alternative for the Elimination of PCR Inhibitors from Sewage and Water Samples. *Applied and Environmental Microbiology* 67:10, pp. 4614-4618.
 - (15) Pina, S.; Puig, M.; Lucena, F.; Jofre, J. y Girones, R. 1998. Viral Pollution in the Environment and in Shellfish: Human Adenovirus Detection by PCR as an Index of Human Viruses. *Applied and Environmental Microbiology* 64:9, pp. 3376-3382.
 - (16) Markell, E. K. y Voge, M. 1973. *Parasitología médica*. México: Nueva Editorial Interamericana.
 - (17) Pall Gelman Sciences. 1998. Analysis of Envirochek Sampling Capsule versus Traditional String Wound Cartridges for Collection and Recovery of Cryptosporidium.
 - (18) LeChevallier, M. et al. 1991. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* spp. in Filtered Drinking Water Supplies. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 57, pp. 2617-2621.
 - (19) LeChevallier, M. 1995. *Giardia* and *Cryptosporidium* in Raw and Finished Water. *Journal of the American Water Works Association*. Vol. 87, setiembre, p. 54.
 - (20) Rose, J. et al. 1990. Occurrence and Control of Cryptosporidium. En McFeters, G. A. (ed.). *Drinking Water Microbiology. Progress and Recent Developments*. Nueva York: Springer-Verlag, pp. 294-321.

- (21) Chauret, C.; Armstrong, N.; Fisher, J.; Sharma, R.; Springthorpe, S. y Sattar, S. 1995. Correlating *Cryptosporidium* and *Giardia* with Microbial Indicators. *Journal of the American Water Works Association*, noviembre, pp. 76-84.
- (22) Rose, J et al. 1991. Survey of Potable Water Supplies for *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Environmental Microbiology*. Vol. 63, pp.1393-1400.
- (23) Ongerth, J. E.; Hunter, G. D. y DeWalle, F. B. 1995. Watershed use and *Giardia* Cyst Presence. *American Water Resources Association* 29: 5, pp. 1295-1299.
- (24) Nieminski, E. C. y Ongerth, J. 1995. Removing *Giardia* and *Cryptosporidium* by Conventional Treatment and Direct Filtration. *Journal of the American Water Works Association*. 87: 9, pp. 86-106.
- (25) Hibler, C. y Hancock, C. 1990. Waterborne Giardiasis. *Drinking Water Microbiology*. Nueva York: Springer-Verlag.
- (26) Kozwicz, D. et al. 2000. Development of Novel, Rapid Integrated *Cryptosporidium parvum* Detection Assay. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 66. pp. 2711-2717.
- (27) Sturbaum, G. D.; Reed, C.; Hoover, P. J.; Jost, B. H.; Marshall, M. M. y Sterling, C. R. 2001. Species-Specific, Nested PCR-Restriction Fragment Length Polymorphism Detection of Single *Cryptosporidium parvum* Oocysts. *Applied and Environmental Microbiology* 67:6, pp. 2665-2668.
- (28) Simmons III, O. D.; Sobsey, M. D.; Heaney, C. D.; Schaefer III, F. W. y Francy, D. S. 2001. Concentration and Detection of *Cryptosporidium* Oocysts in Surface Water Samples by Method 1622 Using Ultrafiltration and Capsule Filtration. *Applied and Environmental Microbiology* 67:3, pp. 1123-1127.
- (29) Ono, K.; Tsuji, H.; Kumar Ral, S.; Yamamoto, A.; Masuda, K.; Endo, T.; Hotta, H.; Kawamura, T. y Uga, S. 2001. Contamination of River Water by *Cryptosporidium parvum* Oocysts in Western Japan. *Applied and Environmental Microbiology* 67:9, pp. 3832-3836.

-
- (30) Carreno, R. A.; Pokorny, N. J.; Weir, S. C.; Lee, H. y Trevors, J. T. 2001. Decrease in *Cryptosporidium parvum* Oocyst Infectivity In Vitro by Using the Membrane Filter Dissolution Method for Recovering Oocysts from Water Samples. *Applied and Environmental Microbiology* 67:7, pp. 3309-3313.
- (31) Xiao, L.; Singh, A.; Limor, J.; Graczyk, T.; Gradus, S. y Lal, A. 2001. Molecular Characterization of *Cryptosporidium* Oocysts in Samples of Raw Surface Water and Wastewater. *Applied and Environme.*
- (32) Atías, A. y Neghme, A. 1984. *Parasitología clínica*. Buenos Aires: Editorial Inter-Médica.
- (33) Faust, E. C., Russell, P. R. y Jung, R. C. 1974. *Parasitología clínica*. México: Salvat.
- (34) Elliot, A. y Cáceres, I. 1988. Introducción a la parasitología del Perú. Lima: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- (35) Wickramanayake, G. B. y cols. 1985. Effects of Zone and Storage Temperature on *Giardia* Cysts. *Journal of the American Water Works Association* 77: 8, pp. 74-77.
- (36) Chauret, C. P.; Radziminski, C. Z.; Lepuil, M.; Creason, R. y Andrews, R. 2001. Chlorine Dioxide Inactivation of *Cryptosporidium parvum* Oocysts and Bacterial Spore Indicators. *Applied and Environmental Microbiology* 67:7, pp. 2993-3001.
- (37) Codd, G. y col. 1990. Biological Aspects of Cyanobacterial Toxins. Second Biennial Water Quality Symposium Microbiological Aspects. Viña del Mar.
- (38) Falconer, I. R. 1990. Tumor Promotion and Liver Injury Caused by Oral Consumption of Cyanobacteria. Second Biennial Water Quality Symposium. Microbiological Aspects. Viña del Mar.
- (39) Karner, D. A.; Standridge, J. H.; Harrington, G. W. y Barnum, R. P. 2001. Microcystin Algal Toxins in Source and Finished Drinking Water. *Journal of the American Water Works Association*, agosto, pp. 72-81.

- (40) OMS. 1998. Guidelines for Drinking Quality. Vol. 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Pathogenic Agents. Ginebra: OMS.
- (41) Moe, C. L.; Sobsey, M. D.; Samsa, G. P. y Mesolo, V. 1991. Bacterial Indicators of Risk of Diarrhoeal Disease from Drinking-Water in the Philippines. *Bulletin of the World Health Organization* 69:3, pp. 305-317.
- (42) Millipore. 1991. Manual AB323/P. Microbiología de aguas.
- (43) Edberg, S. C.; Rice, E. W.; Karlin, R. J. y Allen, M. J. 2000. *Escherichia coli*: the Best Biological Drinking Water Indicator for Public Health Protection. *Journal of Applied Microbiology* 88, pp. 106S-116S.
- (44) IDEXX Laboratorios. INC. 1993. Colilert. Documento de información técnica.
- (45) Craun, G. y Calderón, R. L. 2001. Waterborne Disease Outbreaks Caused by Distribution System Deficiencies. *Journal of the American Water Works Association*, setiembre, pp. 64-75.
- (46) Besner, M. C.; Gauthier, V.; Barbeau, B.; Millette, R.; Chapleau, R. y Prévost, M. 2001. Understanding Distribution System Water Quality. *Journal of the American Water Works Association*, julio, pp. 101-108.