
LOS PROTOZOOS EN LOS PROCESOS DE DEPURACIÓN DE LAS AGUAS DULCES

THE PROTOZOA AS NATURAL AGENTS OF WATER DEPURATION

DIMAS FERNÁNDEZ-GALIANO
Profesor Emérito de la Facultad de Biología,
Universidad Complutense de Madrid.
Socio Honorario de la Sociedad Mexicana de
Historia Natural

RESUMEN

Se pone de relieve la importancia de los protozoos (en particular, los ciliados) como agentes naturales de la depuración del agua dulce continental y de los procesos de descontaminación de las aguas negras de origen humano, y como organismos indicadores de la calidad del agua y del funcionamiento del proceso de tratamiento de las aguas residuales.

ABSTRACT

Is stressed the importance of protozoa (specially, ciliates) as natural agents of continental water depuration and of the purification process of human sewage waters, and also as indicator organisms of water quality and of the functioning of used-water treatment processes.

Introducción

El agua, tan necesaria para la vida y la salud de la especie humana, que no hace todavía muchos años se consideraba como un elemento prácticamente inagotable, se está convirtiendo en muchas regiones de nuestro planeta en un recurso escaso y de peor calidad que la que antaño servía para el abastecimiento del hombre. Por supuesto, se trata aquí de las aguas dulces continentales, ya que las aguas marinas presentan otro tipo de problemas y aunque la cuestión de la escasez atañe realmente, en mayor o menor medida a todo el globo terráqueo, la preocupación sobre ella aparece sobre todo en los países muy poblados, especialmente si a esta circunstancia se suma la de la relativa escasez de las aguas continentales, hecho que se produce en algunos países europeos.

El problema se ha agudizado en la actualidad porque se están produciendo tres sucesos sociológicos que inciden sobre el consumo y la sanidad del agua. Son éstos la explosión demográfica, la progresiva tendencia hacia la concentración de la población en las grandes ciudades y la rapidísima industrialización.

Esos tres factores, actuando simultáneamente, han elevado indudablemente el nivel de vida de los habitantes de grandes regiones del planeta, pero simultáneamente y en razón de este aumento se han incrementado enormemente el consumo de agua y el volumen de los desechos producidos por esta humanidad creciente, que en suma está provocando la penuria de agua y la pérdida de calidad de este recurso por la contaminación.

La Contaminación del Agua

Los factores de la contaminación humana de las aguas dulces continentales, son muy variados, pero se pueden reducir a los siguientes ocho grupos:

1. Sustancias orgánicas tóxicas, como ciertos colorantes, disolventes orgánicos, derivados del petróleo, etc.

2. Sustancias orgánicas no tóxicas, como desechos de mataderos, residuos agrícolas, heces humanas y animales.
3. Sustancias inorgánicas tóxicas, como ácidos y álcalis fuertes, procedentes de la industria o de la minería.
4. Sustancias inorgánicas no tóxicas, como lejías procedentes de papeleras.
5. Sólidos suspendidos, como arcillas y caolines, residuos de la industria cerámica y de la construcción.
6. Materiales radiactivos.
7. Microorganismos patógenos y no patógenos, del intestino de hombres y animales, enfermos o sanos.
8. Cambios térmicos, en general aumento de la temperatura por la refrigeración de centrales nucleares u otras.

Aunque generalmente el origen de la contaminación no es único, por lo cual en la mayor parte de los casos la contaminación es mixta, el esquema anterior es a grandes rasgos válido, y podemos apoyarnos en él para intentar conocer qué tipos de acciones descontaminantes juegan en la naturaleza y qué tipos de estrategias se pueden utilizar para la purificación y eventual reutilización, de las aguas que se contaminaron.

Los casos de contaminación térmica, radiactiva o por sólidos suspendidos no son frecuentes y solamente se producen puntualmente a partir de ciertas instalaciones industriales específicas. Cuando, como es habitual, los vertidos contaminantes de esta naturaleza van a parar a grandes colecciones de agua, como un río o un mar, la descontaminación es rápida y espontánea, pues al cabo de cierto tiempo el enfriamiento y la dispersión han realizado su papel, aparte de que este tipo de instalaciones, industriales ordinariamente cumplen unas normas rígidas legales que les impiden los vertidos dañinos.

Lo mismo podemos decir de los vertidos que contienen sustancias inorgánicas, tóxicas o no, que sólo aparecen en circunstancias poco frecuentes y que se suelen eliminar al mar o a grandes ríos, donde desaparecen por dispersión.

En suma, los mayores responsables de la contaminación de las aguas son los vertidos de materiales orgánicos, tanto por su generalidad, ya que los producimos todos los seres humanos por nuestra actividad biológica y social, como por el hecho de su enorme volumen, al que se ha aludido al hablar de la demografía creciente y de la tendencia de la humanidad actual a emigrar a las ciudades. Como puede suponerse, el último factor de la lista anterior, la contaminación microbiana, no se puede separar de la producida por los demás vertidos de materia orgánica, ya que, por una parte, los microorganismos constituyen el más importante componente volumétrico de las heces de los seres humanos y de los animales y, por otra, su rápida multiplicación a expensas de la materia orgánica, les permite seguir predominando después de su eliminación a las aguas.

En ocasiones, este tipo de contaminación es tan importante que da lugar al conocido fenómeno de la eutrofización de grandes colecciones de aguas, singularmente de los lagos cuando están situados en las inmediaciones de los grandes centros urbanos; se suele aceptar que la eutrofización, es decir, la acumulación en el fondo de las aguas de grandes cantidades de materia orgánica sin descomponer, equivale a la muerte biológica de los lagos o estanques, cuyas aguas ya no mantienen más que a un reducido número de especies animales, vegetales o microbianas que pueden vivir en condiciones de anaerobiosis.

Depuración Espontánea de las Aguas

Cuando las cantidades de contaminantes orgánicos son más o menos reducidos, las poblaciones microbianas residentes normalmente en el agua pueden hacer desaparecer dicha materia orgánica por medio de un complejo proceso biológico que ha merecido el nombre de depuración espontánea o autodepuración.

Este proceso se desarrolla fundamentalmente en dos fases que son teóricamente sucesivas pero en la práctica se suelen superponer en mayor o menor grado, debido a la turbulencia de las aguas: estas dos fases se denominan, respectivamente, de mineralización (disminución de la materia orgánica) y de saneamiento (disminución de microorganismos y de sales minerales) (Fernández Galiano, 1990). Ambas fases son aerobias y en ellas participan variados microorganismos, especialmente bacterias y protozoos (Fig. 1).

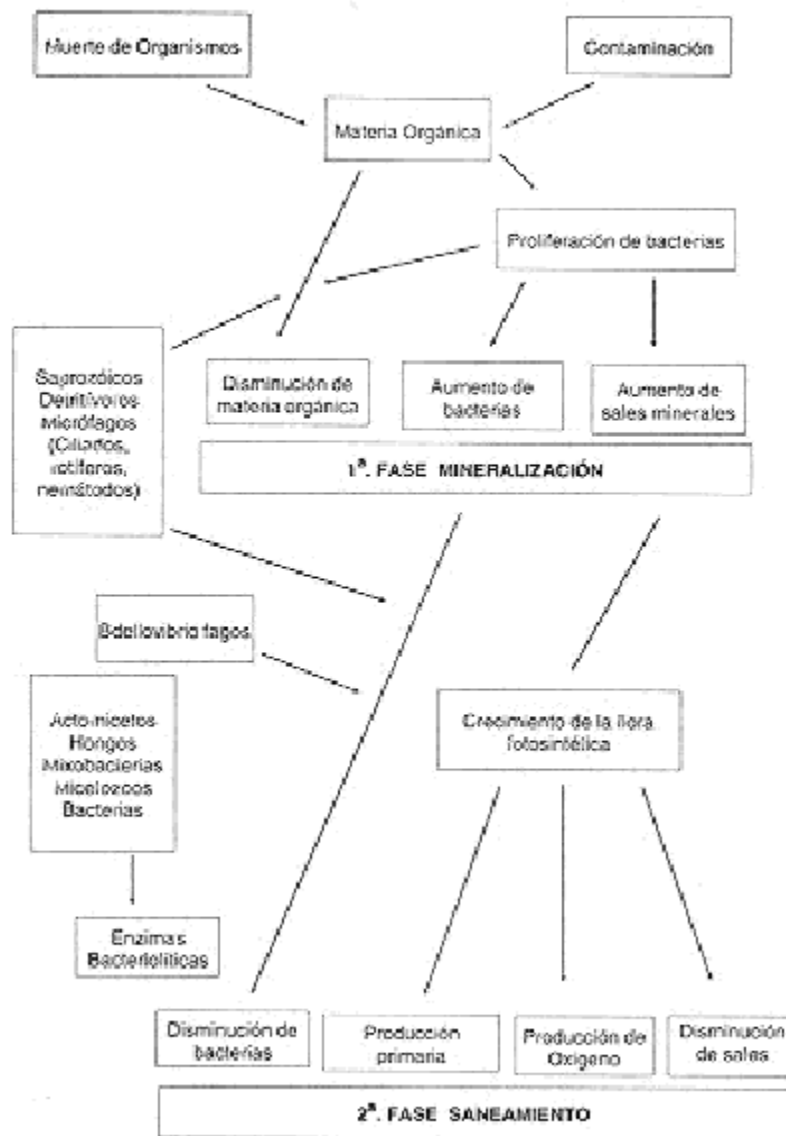


Figura 1. Depuración espontánea (autodepuración) de las aguas

En 1ª primera fase, la materia orgánica contaminante (heces, cadáveres, restos vegetales, etc.) es la sede de una activísima descomposición bacteriana, condicionada, por supuesto, a la naturaleza de los materiales orgánicos presentes y a las demás condiciones ambientales que influyen sobre la actividad bacteriana (temperatura, pH, sales minerales). A este proceso de descomposición de la materia orgánica disuelta o particulada colaboran otros organismos micrófagos, detritívoros o saprozoicos, especialmente protozoos, como amebas, pequeños flagelados y ciliados, pero también algunos pequeños metazoos, como los rotíferos o diminutos nemátodos. El resultado es que disminuye la materia orgánica, crecen las poblaciones bacterianas y, sobre todo, se produce un aumento en la cantidad de sales minerales, a consecuencia de la acción bacteriana.

En la fase de saneamiento suceden dos fenómenos paralelos: A consecuencia de la magnitud de las poblaciones bacterianas, crecen gran cantidad de agentes destructores de estos microorganismos, desde una serie de hongos que las destruyen con sus enzimas bacteriolíticas, a los fagos y otros organismos que las eliminan desde dentro, pero fundamentalmente se produce un notable crecimiento de ciliados bacterívoros, todos los cuales hacen disminuir sustancialmente la importancia de las poblaciones bacterianas, que habían ya empezado a decaer al principio de esta fase por haber disminuido en gran cantidad la materia orgánica que las alimentaba. Por otra parte, la abundancia de sales minerales que se produjo al final de la fase anterior hace posible la proliferación de una abundante microflora fotosintetizante, compuesta principalmente de cianobacterias, diatomeas, desmidiáceas, etc., que crecerán espectacularmente si hay luz suficiente, liberando oxígeno al agua. El resultado final de esta fase de saneamiento se traducirá en la disminución de bacterias y de sales minerales y el aumento de la producción primaria y de la tensión de oxígeno del agua.

Se debe resaltar la importancia en todo este proceso de los protozoos, que actúan en la fase de mineralización como importantes eliminadores de materia orgánica disuelta o particulada y en la de saneamiento como eficacísimos comedores de bacterias.

Relaciones entre los Microorganismos del Agua

Las interrelaciones entre los microorganismos que pueblan las aguas dulces y que intervienen en los procesos de depuración espontánea están, por supuesto, todavía muy lejos de ser conocidas y comprendidas en toda su complejidad, por lo que lo expresado en las líneas anteriores y en la figura 1 hay que entenderlo en líneas muy generales que pueden desviarse en razón de la composición y de la temperatura del agua, de la específica naturaleza de la materia orgánica contaminante y de las variaciones horarias y estacionales, que incluyen, a veces notablemente, sobre las constantes físicas a que se acaba de aludir.

El interés por conocer estas interrogantes (en cuyo conjunto los protozoos asumen una importancia esencial) no es de hoy, y ya en 1912 Woodruff inició su investigación con el seguimiento de la sucesión de las especies de protozoos y de otros organismos que se iban sustituyendo a lo largo del tiempo en una infusión de heno.

A pesar de los muchos estudios llevados a cabo por diversos investigadores desde que apareció el artículo pionero de Woodruff (1912) se puede afirmar que es éste un campo en el que aún hay mucho que descubrir, ya que este tipo de estudios está plagado de dificultades, como ha puesto de manifiesto Cairns (1982). Para este autor, éstas se cifran principalmente en la rapidez de movimientos de los protozoos (especialmente de los ciliados), la velocidad con que suceden los cambios y las sustituciones de unas especies por otras en una determinada colección de agua y la difícil identificación de los protozoos de las aguas dulces, sobre todo los más diminutos. A esto se pueden añadir los diferentes lugares del agua hacia los que en cada momento pueden emigrar estos organismos en respuesta a tactismos variados, lo que hace que en cada colección de agua se pueda encontrar una serie de diversos microbiotopos de confusas fronteras, lo cual hace más o menos problemática la recogida de muestras; sin contar los problemas adicionales que suponen la existencia de quistes o de otras formas de criptobiosis, que suelen ser muy difíciles o imposibles de identificar y que, por supuesto, complican el análisis de las relaciones entre los microorganismos en su medio natural.

Depuración de las Aguas de Consumo y Residuales

Los estudios sobre la biología de los microorganismos en las aguas contaminadas a los que nos estamos refiriendo, aparte del valor teórico en cuanto a los que pueden aportar sobre la fisiología de los protozoos, ostentan también un aspecto aplicado que cada día se hace más patente, por lo cual en la actualidad muchos investigadores les dedican sus esfuerzos.

La aplicación de estos estudios se realiza en dos vertientes, ambas, sin embargo, muy relacionadas entre sí: la depuración de las aguas usadas por el hombre y la utilización de los protozoos, particularmente de los ciliados, como organismos indicadores de la calidad del agua.

En primer lugar, el conocimiento de los fenómenos que suceden en el curso de la autodepuración ha permitido diseñar y poner en marcha de una serie de plantas en las que se llevan a cabo procesos de purificación de las aguas a escala industrial, imitando aquí los procesos naturales, adaptándolos, naturalmente, a los grandes volúmenes de agua y a otras circunstancias sociales que condicionan esta actividad humana.

En este aspecto hay que distinguir entre las aguas de abastecimiento y las aguas residuales. Las aguas que han de servir para el abastecimiento y bebida de las poblaciones se suelen acumular en grandes embalses antes de su utilización. Estas aguas suelen estar poco contaminadas por materia orgánica y, en cambio, suelen poblarse de variedad de algas, según las estaciones del año y otras circunstancias ambientales. Para poder utilizar estas aguas, es decir, para potabilizarlas, hay que eliminar estas algas por medio de tratamientos químicos y después proceder a eliminar la contaminación orgánica (que, entre otras cosas, consiste en los cadáveres de estas algas), para lo cual se procede a pasar el agua por unos filtros de arena (lentos o rápidos, según las circunstancias).

Sobre la arena, al par que se retienen las bacterias que descomponen la materia orgánica, aparece una activa población de protozoos y pequeños metazoos, como rotíferos y nemátodos, que se desarrolla aerobiamente imitando de alguna manera la fase de saneamiento de la depuración espontánea; esta población va acumulándose sobre la arena formando una capa mucilaginosa de grosor creciente que hay que retirar mecánicamente de vez en cuando. Para que el agua así filtrada sea perfectamente potable, los reglamentos sanitarios prescriben, además, un tratamiento químico adicional con hipoclorito.

La depuración de las aguas residuales producto de la actividad humana es tarea mucho más ardua, para la que se requieren instalaciones de gran tamaño y complejidad y elevado costo de construcción y mantenimiento. Esto es debido, por supuesto, a la magnitud de las aguas vertidas en las grandes acumulaciones urbanas, pero también a la naturaleza de la contaminación que sufren estas aguas. Por supuesto, aquí la contaminación orgánica es muy importante y procede fundamentalmente de las heces fecales de la población asentada, pero estos vertidos están siempre mezclados con contaminantes de otro tipo, inseparables de aquéllos y producto también de la actividad humana; jabones, detergentes, lejías, grasas, papel y otros productos complican el sencillo esquema de la depuración aerobia. Así, pues, en las estaciones depuradoras de las grandes ciudades coexisten procesos físicos y químicos, como la decantación o la floculación de los materiales de desecho, con procesos biológicos, unos de naturaleza aerobia y otros anaerobios.

Los más importantes y decisivos en cuanto al resultado de la purificación del agua son los procesos biológicos aerobios, que se desarrollan en grandes balsas, en las que se lleva a cabo el denominado proceso de los lodos o fangos activados ("activated sludge process"). En las balsas donde se realiza este proceso, eliminados ya algunos contaminantes que podrían interferir desfavorablemente el proceso (arenas, etc.) el agua es aireada constantemente por unas turbinas dispuestas de manera conveniente para insuflar al agua la cantidad necesaria de aire para mantener un ambiente aerobio. En esta situación; poblaciones enormemente numerosas de protozoos, particularmente de ciliados, consumen grandes cantidades de bacterias y de materia orgánica disuelta, lo que contribuye de modo muy eficaz a la purificación del agua, en una acción semejante a lo que sucede en la fase de saneamiento de la depuración espontánea.

El proceso biológico anaerobio es fundamentalmente bacteriológico y se realiza en unos tanques cerrados denominados digestores, en los que una abundante microflora anaerobia degrada gran parte de los contaminantes que no han podido ser destruidos por las bacterias aerobias ni por los protozoos. A consecuencia de esta digestión anaerobia de los fangos previamente sedimentados se producen grandes cantidades de gas metano, que en algunas estaciones de depuración de aguas residuales es aprovechado como combustible.

En las localidades de pequeño tamaño y escasa población es también deseable la depuración de las aguas residuales, pero por razones de su alto costo no es posible la construcción de grandes estaciones. Para estos casos se han ideado algunos sistemas más económicos, que son también de una eficacia aceptable y que están basados también en la imitación del proceso de la autodepuración; los más utilizados son el lagunaje y los biodiscos.

El lagunaje es el más "natural" de estos procedimientos: Consiste esquemáticamente en una serie de extensas y someras lagunas artificiales (estanques de estabilización) por las que discurre lentamente el agua residual procedente de los colectores, mientras se va depurando progresivamente por la acción de los micro-organismos, de un modo muy parecido al de la depuración espontánea, con procesos aerobios en las capas superficiales y anaerobios en las capas profundas, en las que se sedimentan los lodos; éstos son conducidos a unos digestores en los que se fermentan en anaerobiosis, con producción de gas metano. En relación con las lagunas de estabilización pueden hallarse zonas de vegetación, praderas de ciertas plantas herbáceas, que contribuyen a la descontaminación al servir de apoyo para las poblaciones microbianas depuradoras.

Las plantas depuradoras de biodiscos consisten en unos pequeños recintos cerrados que contienen un estanque por el que discurre el agua a depurar. En estas aguas están medio sumergidos unos discos

rodantes sobre los cuales se adhieren los microorganismos (bacterias y protozoos, principalmente), que quedan alternativamente sumergidos y emergidos del agua, pero siempre en la zona superior, es decir, en la aerobia.

Como se ha dicho anteriormente, en todo el proceso de depuración de las aguas residuales por agentes biológicos aerobios asumen una gran importancia los protozoos, especialmente los ciliados, a los que se debe en gran parte la calidad del agua efluente y, por consiguiente, la eficacia depuradora de las plantas dedicadas a estos fines. Teniendo esto tal interés aplicado, muchos autores se han ocupado de este tema, entre los más significativos están: Barker (1942, 1946, 1948), Allen (1948), Curds y Cockburn (1970), Curds (1975, 1982), Madoni (1981) y Kinner y Curds (1987). En México realizaron interesantes estudios Gloria Moreno (Moreno Rodríguez, 1985) y Francisco Castro (Castro Gutiérrez, 1985) publicados por Rivera *et al.*, 1988.

La importancia de los protozoos ciliados en la eficacia descontaminadora se pone de manifiesto en las plantas depuradoras por la calidad del agua efluente, que es mucho mejor cuando hay ciliados que cuando faltan, como ha demostrado Curds (1982), quien afirma que en el proceso de los lodos activados, las plantas con ciliados aportan efluentes en los que la DBO ostenta valores entre 7 y 24, mientras que en las plantas que carecen de ellos las cifras oscilan entre 53 y 70; las cifras de bacterias viables en el afluente serían de 106-160 millones por mililitro y 1-9 millones, respectivamente. Y Curds y Frey (1969) cifran la disminución de *E. coli* en las plantas con ciliados en un 95 por ciento y sólo en un 50 por ciento en las plantas sin ciliados.

Este efecto positivo se atribuye no solamente a la ingestión de bacterias por los ciliados sino también en la acción floculante que éstos ejercen sobre la materia orgánica disuelta, haciéndola más asequible a la sedimentación e incluso a su degradación bacteriana.

Protozoos como Parámetros de la Contaminación

Los protozoos ciliados pueden ser utilizados para conocer la calidad del agua, aunque sólo recientemente empiezan a ser empleados con este fin. El fundamento de esta práctica es que suelen ser buenos organismos indicadores con respecto a la cantidad de materia orgánica presente en el agua.

En términos ecológicos, la carga contaminante de materia orgánica en las aguas se denomina "saprobiidad"; aunque esta carga puede, naturalmente, ser evaluada por procedimientos químicos, el concepto de saprobiidad ha sido desarrollado por biólogos, los cuales han elaborado para su medida unas escalas en las que el grado de saprobiidad se valora fundamentalmente por la demanda biológica de oxígeno. Aunque algunos autores han establecido sistemas con hasta diez grados de saprobiidad (Sládecěk, 1973), la mayoría de los autores que tratan de estos temas admiten hasta cinco grados de saprobiidad, que son los siguientes:

Tabla 1

Grado		DBO
0	Xenosaprobiedad (sin contaminación)	0-1
1	Oligosaprobiedad (contaminación débil)	1-2.5
2	Beta-mesosaprobiedad (contaminación moderada)	2.5-5
3	Alfa-mesosaprobiedad (contaminación fuerte)	5-10
4	Polisaprobiedad (contaminación muy fuerte)	10-50

Los protozoos, como el resto de los seres vivos, están en un equilibrio dinámico con su medio ambiente, y reaccionan frente a los cambios de este medio de manera característica según la especie de que se trate. En general, las respuestas pueden ser positivas (rápida multiplicación, movimientos más rápidos, mayor captura de

alimento) o negativos (menor nutrición, enquistamiento, muerte), y diferentes en las respectivas especies. Por consiguiente, es posible ver a la población de un determinado ciliado predominar en una situación de saprobiedad determinada y no aparecer en otra, lo cual les convierte en útiles organismos indicadores de la saprobiedad, o lo que es lo mismo, de la calidad del agua.

Los primeros que diseñaron un sistema de saprobiedad, Kolkwitz y Marsson (1909) ya utilizaron los protozoos como especies indicadoras para la definición de los grados de saprobiedad. Más tarde, se han establecido ciertos métodos para definir matemáticamente la saprobiedad de los diferentes ciliados (Pantle y Buck, 1955; Zelinka y Marvan, 1961) de tal manera que a cada especie estudiada experimentalmente se asigna una "valencia sapróbica" compuesta de cinco cifras (correspondientes a cada uno de los grados de saprobiedad) que caracteriza a cada ciliado. De acuerdo con estos datos, diversos autores han publicado tablas que pueden servir para conocer la probabilidad de que se hallen presentes determinados ciliados en determinadas aguas e, inversamente, conocer la calidad de un agua estudiando su microfauna de ciliados. Así, por ejemplo, existen los manuales de Curds (1969), de Bick (1972) y de Madoni (1981, 1988), catálogos ilustrados en los que figuran los principales ciliados que se hallan en las aguas dulces (en los de Curds y Madoni), en las aguas residuales, con sus correspondientes caracterizaciones sapróbicas, además de algunas listas de saprobiedad de ciliados publicadas por Sladckova y Sládecěk (1966), Sládecěk (1969) y, especialmente, por Foissner (1988), cuya lista es de notable utilidad por lo numerosa, pues consigna nada menos que 411 especies de ciliados caracterizados saprobiológicamente.

Seguramente la existencia de esta labor previa puede servir para estimular el estudio en este campo. Cairns (1982) relaciona una serie de características ventajosas que permiten preferir a los protozoos frente a otros organismos indicadores. Entre estas ventajas, la más importante, es la de ser cosmopolitas, por lo que un estudio realizado en cualquier parte del mundo resulta de utilidad para el resto de los investigadores. Otras ventajas son, según Cairns, su facilidad de recolecta y transporte, por lo que no se requieren grandes medios ni permisos, su posibilidad de conservarlos vivos durante algún tiempo y de cultivarlos con poco costo de dinero y de espacio, su crecimiento rápido y el extenso contacto de su superficie con el agua, lo que les permite una rápida respuesta frente a los cambios ambientales, y otras ventajas derivadas de su pequeñez y de que, frecuentemente, sus poblaciones son muy numerosas.

Contra estas ventajas, anota Cairns un inconveniente, el de su difícil identificación. Pero lo cierto es que los métodos de impregnación argéntica, especialmente los que emplea al carbonato de plata (Fernández-Galiano, 1976, 1994) ofrecen una caracterización de los protozoos, y sobre todo de los ciliados, rápida y razonablemente fácil y segura.

La utilización de los protozoos como indicadores de la calidad del agua ofrece un máximo interés en el proceso industrial de la depuración de aguas residuales. En efecto, en las plantas de depuración, el estudio de los protozoos presentes en los lodos nos proporciona datos sobre la marcha del proceso que pueden servir para conocerlo, controlarlo o incluso corregirlo.

En las plantas de depuración de aguas residuales se han encontrado hasta ahora más de trescientas especies de protozoos, de las que unas doscientas son ciliados. Estas especies, según su modo de vida y otras características, se pueden dividir a efecto práctico en los siguientes grupos:

- a) Pequeños flagelados (como *Bodo*)
- b) Grandes flagelados (*Peranema*)
- c) Amebas desnudas (*Amoeba*)
- d) Amebas testáceas (*Arcella*)
- e) Ciliados nadadores bacterívoros (*Glaucoma*)
- f) Ciliados nadadores carnívoros (*Litonotus*).
- g) Ciliados reptantes (*Aspidisca*).
- h) Ciliados sésiles (coloniales y no coloniales) (*Epistylis*, *Vorticella*).
- i) Suctores (*Podophrya*).

El seguimiento de las poblaciones de protozoos en las plantas, aunque no sea más que identificando estos

nueve grupos, sin detenerse en una caracterización específica, puede servir, como anteriormente se ha dicho, para informarse de la normalidad de la marcha del proceso y, en todo caso, si surge una situación faunística anómala, para informarse de la posible existencia de una perturbación indeseable de dicho proceso de la depuración.

En este sentido, Madoni (1981, 1988) describe diez situaciones (predominio de pequeños flagelados, dominancia de ciliados sésiles, etc.) indicadoras de diferentes fases de la marcha de la depuración o de dificultades en dicho proceso, que pueden ser corregidas por los servicios técnicos de la planta depuradora, una vez que se han diagnosticado por el estudio de la fauna de protozoos.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, L.A., 1948. Microbial association in sewage. *J. Gen. Micr.*, 2: xx-xxi.
- BARKER, A.N., 1942. The seasonal incidence, occurrence and distribution of protozoa in the bacteria bed process of sewage disposal. *Ann. Appl. Biol.*, 29: 23-33.
- BARKER, A.N., 1948. The protozoan fauna of sewage. *J. Gen. Micr.*, 2: xxi-xxii.
- BICK, H., 1972. Ciliated protozoa. An illustrated guide to the species used as biological indicators in freshwater biology. World Health Organisation. Geneva.
- CAIRNS, J. JR., 1982. Freshwater protozoan communities. *In: Microbial Interactions and Communities. Vol. I. A.T. Bull and A.R.K. Watkinson (Eds.)*, Academic Press. London: 249-285.
- CASTRO GUTIÉRREZ, F., 1985. Estudio de los protozoos en un sistema de biodiscos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Copilco C.U. Tesis profesional UNAM. Escuela Nacional de Estudios Profesionales. México D. F.
- CURDS, C. R., 1969. An illustrated key to the British freshwater ciliated protozoa commonly founded in activated-sludge process. H. M. Stationery Office. London.
- CURDS, C.R., 1975. Protozoa. *In: "Ecological aspects of used water treatment. Vol. I. The organisms and their ecology". C. R. Curds and H.A. Hawkes (Eds)*. Academic Press. London: 203-268.
- CURDS, C.R., 1982. The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment process. *Ann. Rcv. Micr.*, 36: 27-46.
- CURDS, C.P. Y COCKBURN, A., 1970. Protozoa in biological sewage treatment. *Wat. Res.*, 4: 237-249.
- CURDS, C.R. Y FREY, G.J., 1969. The effect of ciliated protozoa in the fate of *Escherichia coli* in the activated sludge process. *Wat. Res.*, 3: 853-867.
- FERNÁNDEZ-GALIANO, D., 1976. Silver impregnation in ciliated protozoa: procedure yielding good results with the pyridinated silver carbonate method. *Trans. Am. Micr. Soc.*, 95: 557-560.
- FERNÁNDEZ-GALIANO, D., 1990. La depuración de las aguas residuales en las pequeñas poblaciones. *An. R. Acad. Nac. Medicina*, 107: 145-160.
- FERNÁNDEZ-GALIANO, D., 1994. The ammoniacal silver carbonate method as a general procedure in the study of protozoa from sewage (and other) waters. *Wat. Res.*, 28: 475-496.
- FOISSNER, W., 1988. Taxonomic and nomenclatural revision of Sládecěk's list of ciliates (Protozoa: Ciliophora) as indicators of water quality. *Hydrobiol.*, 166: 1-64.
- KINNER, N.E. Y CURDS, C.R., 1987. Development of protozoan and metazoan communities in rotating biological contactor biofilms. *Wat. res.*, 21: 441-490.
- KOLKWITZ, R. Y MARSSON, M., 1909. Ökologie der tierischen Saprobien. *Int. Rev. ges. Hydrobiol. u. hydrogr.*, 2: 126-152
- MADONI, P., 1981. I protozoi ciliati degli impianti biologici di depurazione. Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Roma.

- MADONI, P., 1988. I protozoi ciliati nel controllo di efficienza dei fanghi attivi. Centro Italiano Studi di Biologia ambientale Reggio Emilia.
- MORENO RODRÍGUEZ, G., 1985. Análisis de protozoarios en un sistema de biodiscos empleado en una planta de tratamiento de CU. Tesis profesional UNAM. Facultad de Ciencias. México D.F.
- PANTLE, E.R. Y BUCK, H., 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas. u. Wasserf., 96:604
- RIVERA, F., CASTRO, G., MORENO, G., LUGO, A., GALLEGOS, E. Y NOROUZIAN, M., 1988. Protozoa of a rotating biological contactor treatment plant in Mexico. Wat. Air Soil Pollut., 42: 281-301.
- SLÁDECĚK, V., 1969. The indicator value of some free-living ciliates. Arch. Protistenk., 111: 276-278.
- SLÁDECĚK, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. Plankton., 7: 1-218.
- SLÁDECKOVA, A. Y SLÁDECĚK, V., 1966. The indicator value of some sessile protozoans. Arch. Protistenk., 109: 223-225.
- WOODRUFF, L.L., 1912. The origin and sequence of the protozoan fauna of hay infusions. J. Exp. Zool., 12: 205-264.
- ZELINKA, M. Y MARVAN, P., 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. Arch. Hydrobiol., 57: 389-407.

Trabajo recibido el 5 - 11 - 94 y aceptado el 30 - 11 - 94