

Capacidad indicadora de los distintos grupos de Protozoos y Metazoos en sistemas de Depuración por fangos activos según su modo de alimentación y tipo de relación con el flóculo*

Capability of Protozoa and metazoa as indicators in activated sludge wastewater treatment plants according to their food habit

Humbert Salvadó, Mercè Rius, Josep M. Amigo y M. del Pilar Gracia**

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar la información que pueden aportar, sobre la calidad del agua tratada, los grandes grupos de la microfauna que constituyen las comunidades de fangos activos. Como parámetro indicador de la calidad del efluente se utilizó la DBO5.

Para el análisis de datos se agruparon las especies en distintos grupos de protozoos y metazoos, que en casos se subdividieron en función de determinados criterios como su tipo de alimentación, relación con el flóculo o tamaño. En estos grupos se determinaron, para distintos rangos de abundancia, la media y la desviación típica de la DBO5 del efluente. Así se obtiene que al aumentar la concentración de individuos de cada especie la DBO5 del efluente tiende a un determinado rango de valores al tiempo que disminuye su desviación típica. De modo que al aumentar la concentración de individuos aumenta su capacidad indicadora, cuya significación queda reflejada en el valor de la desviación típica.

Se ha constatado un aumento de la capacidad indicadora al pasar de niveles taxonómicos superiores a inferiores aunque en muchos casos la información obtenida al estudiar niveles taxonómicos superiores al de especie ya es suficiente para el control rutinario de plantas depuradoras de aguas residuales de fangos activos. Así, para los distintos grupos considerados tanto de protozoos como de metazoos, se ha determinado la capacidad indicadora de cada grupo.

Palabras clave: Fangos activos, protozoos ciliados, especies indicadoras, calidad del efluente, DBO5.

ABSTRACT

Here we aim to determine the extent to which information on the quality of treated water may be provided by the large groups of microfauna found in activated sludge. Effluent quality was measured from BOD5.

Species were grouped taxonomically and then, in some cases, subdivided according to their feeding habits, floc relation or size. These groups were then classified on the basis of their range of abundance, and the mean and standard deviation of the BOD5 in the effluent were calculated for each class. It was found that as the abundance of each group increased the BOD5 tended to a determinate range of values, while the standard deviation decreased. Thus the higher the population density the greater the capacity of a given group of organisms to serve as an indicator, which is reflected in the standard deviation.

* Enviado para el Volumen No. 47 de la RSMHN, dedicado al Dr. Eucario López-Ochoterena.

** Departamento de Biología Animal, Facultad de Biología, Universida de Barcelona, Av. Diagonal, 645, 08028 Barcelona, España

Lower taxonomic levels were found to have a greater indicator capacity than higher, although in many cases the information obtained from levels higher than species is sufficient for the routine monitoring of activated-sludge wastewater treatment plants. Thus, the indicator capacity of the various groups studied, both protozoa and metazoa, was determined.

Key words: Activated sludge, ciliates protozoa, indicator species, effluent quality.

Introducción

La importancia de los protozoos y metazoos en el proceso de tratamiento de aguas residuales mediante fangos activos ha sido ya descrito en muchas ocasiones. La eficacia e importancia de los protozoos y específicamente los ciliados como organismos que intervienen en el proceso de depuración, eliminando principalmente las bacterias dispersas, de las que se nutren, ha sido demostrado por Curds *et al.* (1968). Así la presencia de protozoos en los fangos activos determina un aumento de la calidad del efluente (Curds, 1979; 1982) y a la vez estos protozoos pueden ser indicadores de la calidad del efluente (DBO) (Curds y Cockburn, 1970; Sartory, 1976; Al-shahwani y Horan, 1991; Salvadó *et al.*, 1995). Sin embargo también tenemos que destacar la importancia de los protozoos y pequeños metazoos como organismos indicadores de otros parámetros del proceso de depuración. La estructura de la comunidad de protozoos nos puede caracterizar: distintos tipos de tratamiento biológico (Madoni y Ghetti, 1981); la carga másica (Salvadó y Gracia, 1993); el tiempo medio de retención celular (Salvadó, 1993) y la calidad del fango (Madoni, 1994).

Al igual que se plantea en (Salvadó *et al.*, 1995), se observa que la relación entre distintos parámetros físico-químicos y una determinada especie no sigue habitualmente un patrón rectilíneo. Así es obvio que en la relación existente entre la abundancia de un determinado organismo y un determinado parámetro puede hallarse un rango óptimo para una determinada especie. Por debajo y por encima de este rango óptimo esta especie disminuye su concentración o incluso puede desaparecer del medio. Sin embargo, los análisis estadísticos que se utilizan para relacionar los parámetros físico-químicos y los organismos están basados generalmente en relaciones rectilíneas, ya sea mediante análisis bivariante o análisis multivariante. Consecuentemente al estudiar la relación entre un parámetro y una determinada especie, si el rango de estudio

del parámetro está por encima o por debajo de los valores del rango óptimo es fácil comprender que se obtengan para la misma especie coeficientes de regresión altos con pendientes positivas o negativas respectivamente.

El objetivo de este trabajo, es el estudio de la capacidad indicadora del efluente a partir de los grupos de protozoos y metazoos que colonizan los fangos activos, según su modo de alimentación y el tipo de relación que presentan con el flóculo. Se pretende estudiar cada grupo de organismos de forma independiente y analizar su potencial indicador. Los grupos de organismos propuestos tratan de ser grupos fáciles y rápidos de determinar mediante un microscopio óptico ordinario utilizando campo claro. En determinados casos, estos grandes grupos de organismos se han subdividido para optimizar su capacidad indicadora de la calidad del efluente.

Material y Métodos

Se estudiaron 4 plantas depuradoras de aguas residuales urbanas de fangos activados situadas en el área de Barcelona. Todas las plantas tenían un tratamiento primario convencional seguido de un tratamiento biológico por fangos activos. Durante un periodo de tres años se muestrearon las plantas analizándose un total de 325 muestras.

Los parámetros operacionales que se determinaron fueron: carga másica, tiempo medio de retención celular y tiempo de retención hidráulico. Para calcular estos parámetros se analizaron, a partir de muestras integradas, la DBO5 y los sólidos en suspensión del efluente del decantador primario y del efluente del decantador secundario. También se analizaron los sólidos en suspensión, los sólidos en suspensión volátiles y la concentración de oxígeno disuelto del tanque de aireación. Todos los análisis se realizaron siguiendo el Standard Methods (1989).

Para el conteo de los microorganismos se tomaron muestras frescas de fangos activos del tanque de aireación, las cuales fueron llevadas rápidamente al laboratorio para finalizar el recuento dentro de las 3 horas posteriores al muestreo. El número de organismos de cada taxón se determinó mediante la observación de la muestra en microscopio óptico convencional de campo claro. Los conteos se realizaron a 100 aumentos con 4 réplicas de muestras de 25 a 50 μ l. Los pequeños protozoos, pequeños flagelados y gimnamebas se examinaron a 400 aumentos en campo claro o preferiblemente con contraste de fases.

Análisis de Datos

Para el análisis de datos se ha seleccionado como parámetro de control de la calidad del efluente la DBO5 y utilizando la muestra integrada del mismo día de muestreo como se propone en (Salvadó *et al.*, 1995).

Para el análisis de los distintos grupos de microorganismos estudiados se han efectuado unas tablas donde se representa, para cada rango de concentración de individuos de cada grupo considerado, la media y desviación típica de la DBO5.

Los grupos considerados finalmente fueron:

Protozoos

1-Ciliados totales, este grupo se subdividió en:

1.1- Ciliados bacteriófagos nadadores, mayoritariamente himenostomados;

1.2- Ciliados bacteriófagos reptantes, especies afines a los flóculos pero no fijadas a ellas, mayoritariamente hipotricos y cirtofóridos;

1.3- Ciliados depredadores de ciliados, mayoritariamente suctóridos y pleurostomados.

1.4- Ciliados bacteriófagos sésiles, básicamente peritricos: los ciliados bacteriófagos sésiles se subdividieron en los géneros más comunes:

1.4.1-*Vorticella* grandes con el peristoma de diámetro igual o mayor que la anchura del cuerpo, que incluyen básicamente a *Vorticella convallaria* y *Vorticella campanula*

1.4.2-*Vorticella* pequeñas con el peristoma de menor diámetro que la anchura del cuerpo que incluyen *Vorticella microstoma*, *V. infusionum*, *V. octava*, *V. aquadulcis*

1.4.3- *Zoothamnium*

1.4.4- *Carchesium*

1.4.5- *Epistylis*

1.4.6- *Opercularia*

2- Flagelados < de 20 μ m.

3- Flagelados > de 20 μ m.

4- Gimnamebas < de 50 μ m.

5- Gimnamebas > de 50 μ m.

6- Tecamebas

Metazoos

7- Rotíferos totales; Los rotíferos se subdividieron en dos grupos según el tipo de alimentación

7.1- Rotíferos de la Fam. Philodinidae, que se alimentan de bacterias dispersas y partículas orgánicas;

7.2— Rotíferos de la Fam. Lecanidae, que se alimentan de las bacterias de los flóculos;

8- Nemátodos

9- Oligoquetos.

Resultados y Discusión

En la Tabla 1, se muestran los valores de distintos parámetros del proceso que caracterizan las distintas plantas estudiadas. En esta tabla 1 se puede observar que la planta 1 es la que presenta un mayor tiempo de retención hidráulico, un mayor tiempo medio de retención celular y una menor DBO5 del efluente. Cabe decir, como en Salvadó *et al.* (1995), que para relacionar la microfauna con la DBO5 del efluente se ha utilizado la DBO5 correspondiente al mismo día en que se realizaron los análisis microscópicos, ya que las desviaciones típicas halladas han sido significativamente menores que las halladas al utilizar los datos del efluente de 1 o 2 días anteriores.

De modo general se ha podido observar que al aumentar la abundancia de organismos se tiende, en cada grupo considerado, a un cierto valor de DBO5, al tiempo que disminuye la desviación típica de este parámetro (tablas 2, 3, 4 y 5). Este hecho confirma que la capacidad indicadora se incrementa al aumentar la abundancia de protozoos o metazoos en el sistema. Así se observa que esta relación entre DBO5 y la concentración de protozoos y metazoos

es de tipo logarítmico, de modo que para hallar un pequeño descenso de DBO5 tiene que darse un incremento exponencial de la población de ciliados.

Es importante remarcar que de forma general, la ausencia de individuos de un determinado grupo no indica una determinada calidad del agua. Debido a esto, en la mayoría de los grupos se puede observar que en el rango de abundancia de 0 a 20 individuos/ml, la DBO5 media obtenida es cercana a 15 mg/l, valor que coincide con la media de todas las muestras, siendo en estos la desviación típica muy elevada. Sin embargo cabe destacar que existen dos grupos de organismos en los que su ausencia implica elevadas DBO5, que son los ciliados totales, y el grupo de ciliados bacteriófagos sésiles. Como en Curds *et al.*, (1968), se demuestra que los ciliados son los reponsables de clarificar el efluente debido a que se alimentan de bacterias dispersas y la ausencia de ciliados implica por consiguiente una mala clarificación. En cuanto a los ciliados bacteriófagos sésiles o peritricos, el hecho de que su ausencia implique elevadas DBO5 se puede explicar porque los peritricos se encuentran prácticamente en todas las muestras estudiadas, y por lo tanto la ausencia de peritricos coincide en general con la ausencia total de ciliados.

Los ciliados bacteriófagos reptantes, seguidos por los bacteriófagos nadadores son los que presentan una mayor capacidad indicadora. En cuanto a la calidad del efluente un incremento de la población de ciliados bacteriófagos nadadores indica calidades del efluente moderadas, y en todo caso peores que las que indican los restantes grupos de protozoos ciliados considerados. Contrariamente un incremento de los ciliados bacteriófagos reptantes indica mejores calidades del efluente que las que indican el resto de los demás grupos de ciliados.

En cambio, los ciliados depredadores de otros ciliados y los bacteriófagos sésiles presentan unas desviaciones típicas elevadas, por lo que no se puede considerar a estos grupos como buenos indicadores de la calidad del efluente. Los resultados obtenidos con estos ciliados depredadores coinciden con los obtenidos por Salvadó *et al.* (1995), debido a que su tipo de alimentación ciliófaga no contribuye directamente a la clarificación del efluente como en los ciliados bacteriófagos.

En cuanto al grupo de los ciliados bacteriófagos sésiles su baja capacidad indicadora es debida a otra causa ya que se trata del principal grupo que coloniza los fangos activos, y contiene un elevado

Tabla 1. Valores de los parámetros operacionales de las 4 plantas depuradoras estudiadas.

	Planta 1		Planta 2		Planta 3		Planta 4	
	Media	Des. típica						
Tiempo de retención hidráulico en aireación (h)	9.6	2.4	6.4	1.8	5.4	1.8	8.5	1.9
Carga másica (kg DBO5/kg SSV y día)	0.24	0.1	0.5	0.21	0.76	0.7	0.46	0.1
Tiempo medio de retención celular (días)	10.5	6.9	2.38	0.88	4.5	1.5	3.46	0.6
Oxígeno disuelto en el tanque de aireación, tramo final (mg/l)	3.7	2.3	3.2	0.89	1.1	0.3	1.7	0.9
DBO5 efluente (mg/l)	11.5	7.8	14	9.9	25.6	19.8	13.3	11

La especies de ciliados halladas fueron agrupadas en 4 grupos (tabla 6), según Curds (1982). Al igual que Madoni (1994) algunas especies como *Acinera uncinata* no fueron incluidas dentro de estos grupos.

número de especies con características sapróbicas muy distintas. Por ello hemos subdividido este grupo según los principales géneros de ciliados peritricos hallados (tabla 3), y en el caso de *Vorticella*, que es

Tabla 2. Media y desviación típica de los valores de DBO5 en mg/l para los distintos rangos de abundancia de ciliados. Se indica la frecuencia de los ciliados para cada rango de abundancia (n).

		Rango de abundancia en ind/ml					
		< 20	20-100	100-400	400-1600	1600-6400	6400-30000
Ciliados totales	Media	85	-	31.5	17.7	14.3	13.9
	Des. Típica	45	-	40.3	10.8	12.1	9.1
	n	11	-	2	19	159	149
Ciliados bacteriófagos nadadores	Media	14	13.9	14.7	15.5	18.1	17
	Des. Típica	16.2	10.5	9.9	10.1	9.8	7.8
	n	100	70	72	41	28	20
Ciliados bacteriófagos reptantes	Media	18.2	15	14.9	12.7	12.9	10
	Des. Típica	18.4	9.6	12.8	8.9	6.1	3.5
	n	63	70	55	94	39	5
Ciliados bacteriófagos sésiles	Media	68	-	18	14.5	14	15
	Des. Típica	65	-	19.3	9.4	11.8	9.2
	n	12	-	7	50	192	78
Ciliados depredadores de ciliados	Media	16.7	12.5	12.2	14.8		
	Des. Típica	14.6	7.9	9.7	8.9		
	n	164	90	55	20		

el género más frecuente, se ha subdividido en dos grupos en función de su morfología y tamaño. Se observa como *Opercularia* y el grupo de *Vorticella* de menor tamaño indican calidades peores que los otros peritricos estudiados y con una capacidad indicadora sensiblemente superior respecto al grupo de ciliados bacteriófagos sésiles. Los demás peritricos considerados indican bajas DBO5, menores o cercanas a 10 mg/l. Finalmente los géneros *Zoothamnium* y *Carchesium* son los que presentan una mayor capacidad indicadora, siendo a su vez los que indican DBO5 inferiores.

Los demás protozoos considerados, flagelados y rizópodos, se subdividieron según su tamaño y los rizópodos según la presencia de teca (tabla 4). En el grupo de flagelados menores de 20 μm de longitud se hallaron especies pertenecientes en su mayoría a la familia Bodonidae que aunque pueden ser libres, generalmente se encuentran adheridos a los flóculos mediante uno de los dos flagelos que poseen. La abundancia de estos

pequeños flagelados puede superar varias veces el millón de células por mililitro. Este grupo indica efluentes con DBO5 a menudo superiores a 15 mg/l de DBO5. Contrariamente los flagelados de mayor tamaño generalmente ausentes o escasos indicando DBO5 inferiores. Este último grupo estuvo mayoritariamente representado por especies pertenecientes a los géneros *Penanema* y *Entosiphon*, que son especies libre nadadoras. Otros géneros de flagelados como *Trepomonas* no contabilizados en el computo son comunes en las fases de arranque e indican fangos deteriorados o bien condiciones de fuerte déficit de oxígeno disuelto.

Respecto a los rizópodos, en las gimnamebas podemos hallar una cierta analogía con lo que ocurre con los flagelados, de modo que las especies de gimnamebas de mayor tamaño pertenecientes en su mayoría a los géneros *Mayorella*, *Amoeba* o *Thecamoeba* indican calidades del efluente claramente superiores ($\text{DBO5} \leq 10 \text{ mg/l}$), mientras que

Tabla 3. Media y desviación típica de los valores de DBO5 en mg/l para los distintos rangos de abundancia de ciliados bacteriófagos sésiles. Se indica la frecuencia de los ciliados para cada rango de abundancia (n).

		Rango de abundancia en ind/ml					
		< 20	20-100	100-400	400-1600	1600-6400	6400-30000
<i>Carchesium</i>	Media	15		9.2	10.3	5.3	
	Des. Típica	12.3		2.4	2.2	2.7	
	n	314		3	4	7	
Epistylis	Media	16.7	11.2	10.5	10.2	8.5	6
	Des. Típica	13.6	4.9	8.4	4.6	6.4	2.5
	n	228	31	28	26	16	2
<i>Opercularia</i>	Media	13.8	16.5	15.7	15	14.3	13
	Des. Típica	17.5	16	10.9	10.3	9.5	6.2
	n	65	19	52	87	95	12
<i>Vorticella</i> con diámetro Del peristoma > a la Anchura del cuerpo	Media	16.9	13	10	10.8	12.6	
	Des. Típica	14.3	8.6	5.6	3.8	9.5	
	n	196	36	42	37	19	
<i>Vorticella</i> con diámetro Del peristoma < a la Anchura del cuerpo	Media	11	15.6	13	14.5	15.9	16
	Des. Típica	18.3	13.2	10	11.4	11.9	9.6
	n	31	7	39	98	124	31
<i>Zoothamnium</i>	Media	15	11.5	9.8	9.8	7.5	
	Des. Típica	12.6	5.4	2.9	3.7	1.4	
	n	299	11	10	8	3	

TABLE 4. Media y desviación típica de los valores de DBO5 en mg/l para los distintos rangos de abundancia de flagelados y rizópodos. Se indica la frecuencia de los organismos para cada rango de abundancia (n).

		Rango de abundancia en ind/ml					
		< 20	20-100	100-400	400-1600	1600-6400	6400-30000
Flagelados < 20 µm (x100)	Media	11.5	12.7	10.8	15.2	16.3	16.9
	Des. Típica	8.6	10.7	8.9	16.3	10.5	10.2
	n	24	17	52	100	83	53
Flagelados > 20 µm	Media	14.9	11.3	5.7	10.8		
	Des. Típica	12.5	5.8	3.8	6.8		
	n	305	19	3	3		
Gimnamebas < 50 µm (x100)	Media	13.5	12.4	15.5	16.4	23	
	Des. Típica	9	11.3	11.2	7.5	32	
	n	91	83	96	44	15	
Gimnamebas > 50 µm	Media	16.8	11.4	11.8	9.5	10.5	
	Des. Típica	13.9	7	8.4	3.5	3.2	
	n	205	52	49	20	3	
Tecamebas	Media	15	18	5.9	9	16	
	Des. Típica	12	17.8	4	2.5	11	
	n	294	11	16	5	3	

Tabla 5. Media y desviación típica de los valores de DBO5 en mg/l para los distintos rangos de abundancia de metazoos. Se indica la frecuencia de los metazoos para cada rango de abundancia (n).

		Rango de abundancia en ind/ml					
		< 20	20-100	100-400	400-1600	1600-6400	6400-30000
Rotíferos	Media	16.3	12.2	8.8	9.8		
	Des. Típica	13.4	8	5	3.7		
	n	238	43	38	13		
Rotíferos (Philodinidae)	Media	15.3	9.6	8			
	Des. Típica	12.6	3	0.7			
	n	298	26	5			
Rotíferos (Lecanidae)	Media	15.3	11	10.4	10.3		
	Des. Típica	12.7	5.5	5.9	1.38		
	n	290	17	15	7		
Nemátodos	Media	15	13.7	10.8			
	Des. Típica	12.6	11	5.2			
	n	248	73	7			
Oligoquetos	Media	14.8	4.5	3			
	Des. Típica	12.2	1.3	1.5			
	n	325	4	3			

Tabla 6. Relación de las especies de ciliados agrupadas según los cuatro grupos en que se han subdivido los ciliados.

CILIADOS BACTERIÓFAGOS			CILIADOS DEPREDADORES DE CILIADOS
NADADORES	REPTANTES	SÉSILES	
<i>Cyclidium glaucoma</i>	<i>Aspidisca cicada</i>	<i>Carchesium polypinum</i>	<i>Acineta tuberosa</i>
<i>Daxiostoma campylum</i>	<i>Aspidisca lynceus</i>	<i>Epistylis chrysemydis</i>	<i>Amphileptus pleurosigma</i>
<i>Paramecium sp.</i>	<i>Aspidisca turrata</i>	<i>Epistylis coronata</i>	<i>Coleps hirtus</i>
<i>Tetrahymena sp.</i>	<i>Chilodonella uncinata</i>	<i>Epistylis entzii</i>	<i>Holophrya sp.</i>
<i>Uronema nigricans</i>	<i>Euplotes sp.</i>	<i>Epistylis plicatilis</i>	<i>Litonotus lamella</i>
	<i>Euplotes aediculatus</i>	<i>Opercularia coarctata</i>	<i>Litonotus crystallinus</i>
	<i>Oxytricha sp.</i>	<i>O. curvicaula</i>	<i>Podophrya fixa</i>
	<i>Parastrongylidium oswaldi</i>	<i>O. microdiscum</i>	<i>Prodiscophrya collini</i>
	<i>Trithigmotoma cucullulus</i>	<i>Opercularia sp.</i>	<i>Spathidium sp.</i>
	<i>Trochilia minuta</i>	<i>Vorticella aquadulcis</i>	<i>Tokophrya ciclopum</i>
		<i>Vorticella campanula</i>	<i>Tokophrya quadripartita</i>
		<i>Vorticella convallaria</i>	
		<i>Vorticella infusionum</i>	
		<i>Vorticella octava</i>	
		<i>Vorticella microstoma</i>	
		<i>Thuricola kellicottiana</i>	
		<i>Zoothamnium sp.</i>	

las gimnamebas de menor talla fueron halladas durante periodos con DBO5 significativamente superiores. Por otra parte se ha constatado que las tecamebas no son buenos indicadores de la DBO5.

Finalmente podemos decir que los metazoos presentan una buena capacidad indicadora, siendo además indicadores de buenas calidades del efluente (tabla 5). Dentro de los metazoos los rotíferos se dividieron según su modo de alimentación en las familias Philodinidae y Lecanidae que respresentan las familias más abundantes y frecuentes en nuestro estudio. Así los Philodinidae que se alimentan de bacterias libres indican menores DBO5 que los Lecanidae que se alimentan de los flóculos, y según Rius *et al.* (1996) poblaciones superiores a 2000 ind./ml pueden reducir el tamaño del flóculo y en consecuencia perjudicar la sedimentabilidad de los fangos. Los oligoquetos fueron escasos, y al igual que los rotíferos Lecanidae también se alimentan de bacterias floculantes. Los oligoquetos siempre indicaron calidades del efluente superiores a los demás grupos estudiados aunque estos aparecieron en periodos con elevadas edades de fango y bajas cargas másicas. Sin embargo según observaciones realizadas en otras plantas no consideradas en este estudio hemos podido constatar que poblaciones superiores a 500-1000 ind./ml pueden perjudicar gravemente la capacidad de sedimentación reduciendo la calidad del efluente en términos de sólidos en suspensión y en consecuencia la DBO5.

De forma general es de interés observar que los organismos de mayor talla dentro de un determinado grupo indican mejores calidades del efluente que sus homólogos de talla más reducida. Dentro de los protozoos ciliados se observa por ejemplo que el grupo de las *Vorticella* grandes indican valores de DBO5 significativamente inferiores al grupo de *Vorticella* de pequeña talla y respecto a los flagelados y gimnamebas se observa el mismo fenómeno.

Por otra parte se observa que la capacidad indicadora puede disminuir por ejemplo debido a distintos problemas del proceso. Un problema típico es el Bulking o fangos voluminosos causado por el crecimiento masivo de bacterias filamentosas. En un periodo de bulking se pueden ocasionar efluentes con elevados sólidos en suspensión pero obviamente se trata de un problema físico de mala decantación.

Finalmente se tiene que constatar que la capacidad indicadora se incrementa al pasar de niveles taxonómicos superiores a inferiores, es decir incrementaríamos en precisión al estudiar la especie en lugar de la familia. A pesar de ello la determinación de especies o taxones inferiores es muy laboriosa y generalmente poco practicable para su uso rutinario en el control de plantas depuradoras de aguas residuales, y en muchos casos la información obtenida al estudiar niveles taxonómicos superiores al de especie ya es suficiente

Glosario

DBO5: Demanda biológica de oxígeno - 5 días

SSV: sólidos en suspensión volátiles

Literatura citada

Al-shahwani, S.M. y N.J. Horan, 1991. The use of protozoa to indicated changes in the performance of activated sludge plants. *Wat. Res.* 25:633-638.

APHA, 1989. *Standard methods for the examination of water and waste water*, 17th Edition, American Public Health Associaton, Washington, D.C.

Curds, C.R., 1982. The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment processes. *Ann. Rev. Microbiol* 36:27-46.

Curds, C.R., 1979. Le rôle des protozoaires dans la purification de l'eau. *Ann. biol.*, (5-6):193-219.

Curds, C.R., A. Cockburn y J.M. Vandyke, 1968. An experimental study of the role of ciliated protozoa in the activated-sludge process. *Wat. Pollut. Control* 67:312-329.

Madoni, P. y P.F. Ghetti, 1981. The structure of ciliated protozoa communities in biological sewage-treatment plants. *Hydrobiologia* 83:207-215.

Madoni, P., 1994. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. *Wat. Res.* 28:67-75.

Salvadó, H., 1990. Método rápido para el control del bulking, técnica simple y rápida de conteo de microorganismos filamentosos. *Tecnología del Agua*. 67:60-63.

Salvadó, H., 1994. Effect of mean cellular retention time on ciliated protozoan populations in urban wastewater treatment plants based on a proposed model. *Wat. Res.* 28:1315-1321

Salvadó, H. y M.P. Gracia, 1993. Determination of organic loading rate of activated sludge plants based on protozoan analysis. *Wat. Res.* 27:891-895

Salvadó, H., M.P. Gracia y J.M. Amigó, 1995. Capability of ciliated protozoa as indicators of effluent quality in activated sludge plants. *Wat. Res.* 29:1041-1050

Sartory, D.P., 1976. The peritrich ciliates as biological indicators for activated sludge. *Microscopy* 33:85-89.

Rius, M., H. Salvadó y M.P. Gracia, 1996. Importancia de los rotíferos en el proceso de depuración de aguas residuales por fangos activos. *Tomo extraordinario 125 Aniversario RSEHN*: 438-440.