

Hinchamiento de lodos

Ing. Jairo A. Romero Rojas

Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia; *Master of Engineering* en Ingeniería Ambiental, *Rensselaer Polytechnic Institute*, Troy, Nueva York; diplomado en Aguas Subterráneas, Universidad Hebrea de Jerusalén; Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional; director del Centro de Estudios Ambientales y profesor, Escuela Colombiana de Ingeniería. Autor de los libros: *Acuitratamiento por lagunas de estabilización*; *Acuipurificación y Acuiquímica*, editados por la Escuela Colombiana de Ingeniería.

INTRODUCCIÓN

Muchas plantas de tratamiento de aguas residuales, mediante procesos de lodos activados, exhiben problemas frecuentes de hinchamiento de lodos y formación de espumas, con la consecuente reducción en la eficiencia del sistema de tratamiento. En este artículo se resumen las causas y soluciones más comunes de dichos problemas operativos.

EL LODO ACTIVADO

El de lodos activados es un proceso biológico aeróbico, de cultivo microbioal suspendido con recirculación de biomasa. En la figura 1 se presenta el esquema típico de este proceso.

El lodo activado es un cultivo microbioal de organismos que adsorbe y remueve metabólicamente sustancias orgánicas e inorgánicas del agua residual, y produce un efluente mineralizado. La biomasa del lodo activado está compuesta, aproximadamente, por un 95% de bacterias y un 5% de protozoos: amibas, flagelados y ciliados; rotíferos e invertebrados.

Cuando la biomasa, o floc biológico formado, es de buena sedimentabilidad, el sobrenadante del sedimentador es claro, el lodo sedimentado es espeso y se obtiene un buen efluente y un buen lodo de retorno. La presencia de una cantidad óptima de organismos filamentosos permite contar con una columna vertebral, alrededor de la cual los orga-

nismos formadores de floc se aglomeran para estructurar una sustancia fuerte de buena sedimentabilidad. En un lodo hinchado los organismos filamentosos predominan y se forma un floc filamentososo de baja densidad, mal compactado, que no sedimenta apropiadamente. En ausencia de organismos filamentosos no existe columna vertebral, los flocs son pequeños y se forman los llamados cabeza de alfiler que, aunque sedimenten rápidamente, dejan un sobrenadante turbio. Por tanto, la situación óptima, un floc fuerte de buena sedimentabilidad y compactación, con sobrenadante claro de buena calidad, se logra con una población microbioal balanceada de organismos filamentosos y organismos formadores de floc.

EL PROBLEMA

El funcionamiento apropiado de una planta de tratamiento de aguas residuales, de crecimiento biológico suspendido, requiere el desarrollo de una biomasa de buena sedimentabilidad, removible por acción de la fuerza de gravedad en el sedimentador

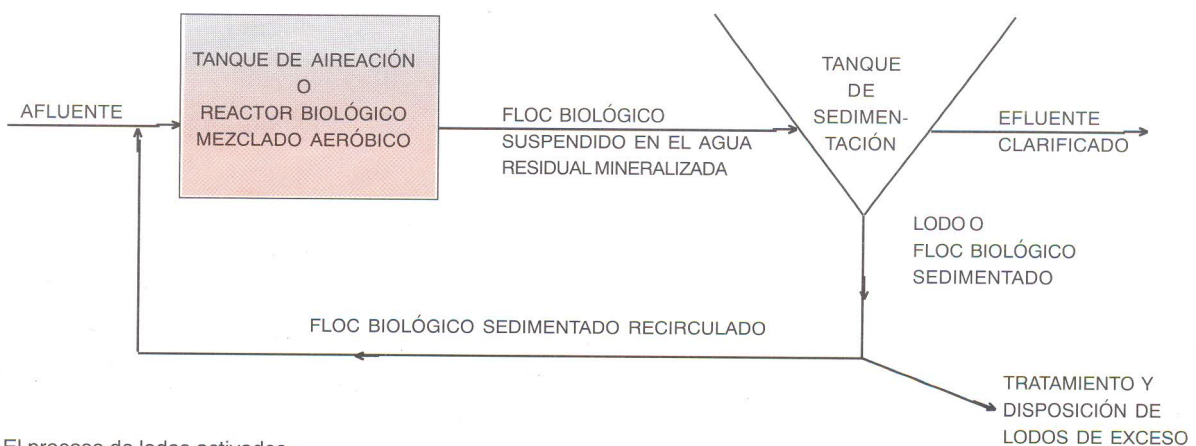


Figura 1. El proceso de lodos activados.

de lodos y que produzca un sobrenadante claro. Sin embargo, en muchas ocasiones, las plantas de tratamiento desarrollan biomasas de sedimentabilidad pobre; el floc biológico expande su volumen, disminuye su densidad y se reduce la velocidad de asentamiento. Estos lodos de sedimentabilidad pobre, lodos que se asientan y compactan muy lentamente, son la causa del problema conocido generalmente como hinchamiento de lodos (*sludge bulking*). Además, algunas plantas de tratamiento de lodos activados presentan el problema de formación de natas, de lodos espumosos o espuma abundante, especialmente en el tanque de aireación.

Los problemas de hinchamiento de lodos y de formación de espuma son muy comunes en plantas de lodos activados que no satisfacen los rendimientos solicitados de una planta de tratamiento secundario de aguas residuales. Los agentes y organismos espumantes pueden producir una espuma estable, viscosa, de color carmelita, difícil de romper mecánicamente con chorros de agua o con antiespumantes y constituyen, en ocasiones, un problema muy indeseable al formar capas muy gruesas de hasta 1 y 2 m de espesor, en el tanque de aireación, con producción de malos olores y de espumas en el sedimentador secundario y en el efluente de la planta de tratamiento.

La presencia de una capa carmelita clara de espuma, de 5 a 8 cm de espesor, sobre un 10% a 25% del área superficial del tanque de aireación, es normal en un proceso de lodos activados bien operado. Sin embargo, la formación de espuma blanca dura, de espumas carmelitas oscuras gruesas y grasosas, o de espumas negras constituye, generalmente, un problema de operación.

CAUSAS DEL PROBLEMA

Básicamente, la causa del problema de hinchamiento es la presencia en el floc biológico de cantidades excesivas de bacterias filamentosas y hongos, filamentos en cantidades mayores de 10^7 μm por mililitro de lodo activado¹. Una cantidad excesiva de filamentos mantiene separadas las partículas floculentas, conduce a una estructura de floc abierto, flocs de forma irregular, con muchos vacíos entre los filamentos. Sin embargo, una cantidad pequeña de organismos filamentosos es recomendable porque sirve como columna vertebral para la estructura del floc y para retener pequeñas partículas durante la sedimentación.

Son condiciones que favorecen el crecimiento de organismos filamentosos:

- Carencia de una concentración apropiada de oxígeno disuelto.
- Insuficiencia de nutrientes.
- Concentraciones excesivas de H_2S .
- Concentraciones altas de grasas y ácidos grasos en el agua residual cruda.
- pH menor de 6.5 ó mayor de 8.5.

- Temperatura excesiva del agua residual.
 - Relación alimento a microorganismos, A/M, baja.
- Son condiciones que favorecen el crecimiento de hongos:
- pH menor de 5.
 - OD menor de 0.5 mg/L.

Además, la mezcla excesiva puede conducir a problemas de rotura del floc biológico; la desnitrificación, con producción abundante de nitrógeno gaseoso, puede causar levantamiento del lodo sedimentado, y la existencia de una relación Alimento/Microorganismos alta puede promover crecimiento biológico disperso.

El problema de hinchamiento de lodos se atribuye a más de 20 organismos filamentosos diferentes. Las tablas 1 y 2 incluyen los tipos de organismos filamentosos más abundantes en plantas con problemas de hinchamiento de lodos, así como las causas posibles que generan dichos problemas. El organismo filamentosos más común, en plantas con problemas de hinchamiento de lodos en los Estados Unidos, es el tipo 1701. *Sphaerotilus natans*, que

Tabla 1
ABUNDANCIA DE ORGANISMOS FILAMENTOSOS EN PLANTAS DE LODOS ACTIVADOS CON PROBLEMAS DE HINCHAMIENTO EN ESTADOS UNIDOS (1)

Escalafón	Organismo filamentosos	% de plantas con hinchamiento de lodos en las cuales se detectó su predominio*
2	<i>Nocardia spp.</i>	31
1	Tipo 1701	29
2	Tipo 021N	19
3	Tipo 0041	16
4	<i>Thiothrix spp.</i>	12
5	<i>Sphaerotilus natans</i>	12
6	<i>Microthrix parvicella</i>	10
7	Tipo 0092	9
8	<i>Haliscomenobacter hydrossis</i>	9
9	Tipo 0675	7
10	Tipo 0803	6
11	<i>Nostocoida limicola</i>	6
12	Tipo 1851	6
13	Tipo 0961	4
14	<i>Beggiatoa spp.</i>	3
15	Hongos	1
16	Tipo 0914	1
*	Otros	1

* Con base en 525 muestras de 270 plantas de lodos activados.

** *Nocardia spp.* fue el organismo más común en plantas con problemas de espuma, pero no de hinchamiento.

Tabla 2
TIPO DE ORGANISMO FILAMENTOSO DOMINANTE
INDICADOR DE CONDICIONES CAUSANTES
DE HINCHAMIENTO DE LODOS (1)

Condición causativa	Tipo de organismo filamentoso indicador
1. OD bajo para la carga orgánica aplicada	Tipo 1701, <i>S. natans</i> , <i>H. hydrossis</i>
2. Relación A/M baja	<i>M. parvicella</i> , <i>Nocardia spp.</i> , <i>H. hydrossis</i> , tipos 021N, 0041, 0675, 0092, 0581, 0961 y 0803
3. Residuo séptico/sulfuros	<i>Thiothrix spp.</i> , <i>Beggiatoa spp.</i> , tipo 021N
4. Déficit de nutrientes (N y/o P)	<i>Thiothrix spp.</i> , tipos 021N, 0041 (en residuos industriales solamente) y 0675
5. pH bajo (pH < 6,0)	Hongos

produce dicho problema particularmente en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. En Europa, sin embargo, el organismo filamentoso prevaeciente en lodos hinchados es el *Microthrix parvicella*. La identificación del tipo de organismo filamentoso predominante ayuda a determinar las condiciones causativas del problema como se indica en la tabla 2.

Tanto el tipo 1701 como el *S. natans* son organismos aeróbicos estrictos, utilizan carbohidratos y ácidos orgánicos para su crecimiento, y amoníaco como fuente de nitrógeno, y toleran niveles bajos de OD, del orden de 0.01 a 0.03 mg/L, valor inferior al requerido para sostener el crecimiento de bacterias formadoras de floc¹.

La presencia de espuma blanca dura puede observarse en plantas nuevas, en período de arranque; indica la

existencia de un lodo joven, edad de lodos, o θ_c , baja, concentración de biomasa en el reactor baja y consecuentemente relación A/M alta; también ocurre en plantas sobrecargadas. La espuma puede estar constituida por detergentes y, o proteínas sin biodegradar por las bacterias, debido a la relación A/M alta.

Las espumas carmelitas están asociadas con plantas que operan con cargas bajas y con plantas que tienen crecimiento del organismo filamentoso *Nocardia*. La formación de espumas negras o muy oscuras es indicadora de condiciones anaeróbicas o de residuos industriales con colorantes o tinturas.

En problemas de espumas el organismo filamentoso más común y severo es el *Nocardia* y, en menor grado, el *Microthrix parvicella*. Estos organismos y, en algunos casos, el tipo 1863 constituyen causas comunes de formación de espumas en procesos de lodos activados. En la tabla 3 se resumen las causas principales de formación de espuma. El crecimiento de *Nocardia* está asociado con temperaturas cálidas, grasas y aceites. La naturaleza grasosa hidrofóbica de la pared celular de las bacterias *Nocardia* tiende a causar su flotación cuando son aireadas, y hace que se concentren en la espuma y floten sobre el agua aun después de muertas.

CONTROL OPERATIVO

El control operativo busca, entre otros, los siguientes efectos:

- Mejorar las características de sedimentabilidad de los lodos.
- Mantener una concentración óptima de biomasa en el reactor biológico.
- Obtener una nitrificación más rápida en el reactor.
- Posibilidad de aplicar cargas hidráulicas más altas al sedimentador sin disminuir su eficacia.
- Mejorar la eficiencia de tratamiento del proceso.

ARQUITECTURA E INGENIERIA

GERENTE: PILAR ROJAS MACÍAS

- Elaboración de planos de ventas, modelos tridimensionales
- Cálculo de estructuras
- Digitalización
- Servicio de PLOTTER
- Sistemas CADD para arquitectura e Ingeniería

DISTRIBUIDOR
AUTORIZADO



AUTODESK

Calle 115 No. 43-21 Apto. 102 - Tels.: 2154448 - 6129279 - Fax 6129280

Tabla 3
CAUSAS DE ESPUMAS EN LODOS ACTIVADOS (1)

Tipo de espuma	Causas
Blanca a gris, delgada	Lodo joven, edad de lodos baja, tiempo insuficiente para descomponer detergentes.
Blanca, espumosa, ondulante	Existencia de detergentes no biodegradables.
Gris como ceniza	Recirculación excesiva de finos de otros procesos, por ejemplo sobrenadantes de digestores, centrífugas y filtros prensa.
Manto de lodo espeso sobre el sedimentador final (pobre en organismos filamentosos)	Desnitrificación, manto de lodos retenido por períodos prolongados en el sedimentador, en presencia de nitratos, especialmente a temperaturas altas.
Gríssa, gruesa, pastosa o gelatinosa (cuando se tratan residuos industriales)	Espuma deficiente en nutrientes, compuesta de polisacáridos producidos por los microorganismos en condiciones de nutrientes bajas.
Estable, espesa, carmelita (rica en filamentos)	Espuma inducida por organismos filamentosos: <i>Nocardia spp.</i> , <i>Microthrix parvicella</i> o tipo 1863.

Los controles operativos más utilizados son:

- Mantener un índice volumétrico de lodos, IVL, menor de 150 mL/g; aunque cada planta tiene un valor específico óptimo de IVL que debe determinarse de acuerdo con la experiencia operativa previa.
- Mantener una relación alimento/microorganismos apropiada.
- Mantener una edad óptima de lodos, θ_c .
- Identificar los grupos principales de microorganismos de los lodos activados y establecer su abundancia relativa para evaluar la calidad del lodo. La identificación puede hacerse mediante un microscopio económico de bajo poder de magnificación 100X a 400X, pues no es necesario diferenciar entre especies. Los protozoos y los rotíferos son organismos depuradores del agua residual; los primeros consumen bacterias dispersas no floculadas y los segundos, partículas de floc biológico suspendido. La presencia y el predominio relativo de protozoos, rotíferos y gusanos como los nematodos, está relacionada con la calidad del lodo activado y con otros parámetros operativos como el IVL y la edad de lodos, θ_c ; como se indica en la figura 2. Así, por ejemplo, una pérdida de ciliados y una proliferación de flagelados es indicadora de una alteración en la operación adecuada de la planta.

Durante el arranque de una planta de lodos activados predominan las amibas y se forma muy poco lodo; en lodos dispersos, no floculentos, con producción de un efluente de baja calidad, predominan los flagelados y se pueden observar relaciones alimento/microorganismos altas y edades de lodos bajas. Los ciliados libres predominan cuando su alimento, bacterias, es abundante y la relación alimento/microorganismos disminuye. Los ciliados adheridos al floc predominan cuando hay abundancia de bacterias y el floc es grande; gracias a la rotación de sus cilios atraen a las bacterias para usarlas como alimento y contribuyen así a la producción de un efluente de buena calidad. Si la relación alimento/microorganismos disminuye en una planta convencional de lodos activados, los rotíferos y los nematodos predominan, el floc puede ser fino, tipo cabeza de alfiler, y la calidad del efluente se deteriora. Sin embargo, en plantas de lodos activados de aireación prolongada, como los zanjones de oxidación y las plantas compactas, con relación alimento/microorganismos baja, concentración alta de biomasa en el reactor y edad de lodos prolongada, predominan los rotíferos y los nematodos y se obtiene un efluente de buena calidad.

Como puede verse en la figura 2, el rendimiento óptimo de una planta de lodos activados ocurre cuando el lodo es de buen asentamiento y existe una población equilibrada de ciliados libres y adheridos, así como de rotíferos y flagelados. El procedimiento para determinar el predominio relativo de los microorganismos del lodo activado se resume y presenta en la figura 3. Las relaciones entre estos organismos y la carga orgánica de operación del proceso de lodos activados puede interpretarse como se indica en la tabla 4.

Estudios realizados por Pitman (6) en plantas de lodos activados de aireación prolongada, indican que una operación con edades de lodos de 15 a 20 días puede producir lodos de asentamiento excelente si se provee una concentración de oxígeno disuelto suficiente, mayor de 2 mg/L, para prevenir el crecimiento excesivo de organismos filamentosos.

CORRECCIÓN DEL PROBLEMA

El problema se ha corregido de diferentes maneras, las más comunes de las cuales se sugieren a continuación:

- Modificar la operación de la planta, aplicando el afluente en forma escalonada.
- Modificar la operación del sedimentador de lodos activados.
- Mantener el pH del licor del tanque de aireación entre 6.5 y 8.5, para promover un crecimiento microbial apropiado y para evitar el crecimiento de hongos. Para ajustar el pH se puede dosificar ácido sulfúrico, ácido clorhídrico o ácido fosfórico si el pH es alto, o cal, soda ash u otro álcali o base si el pH es demasiado bajo.

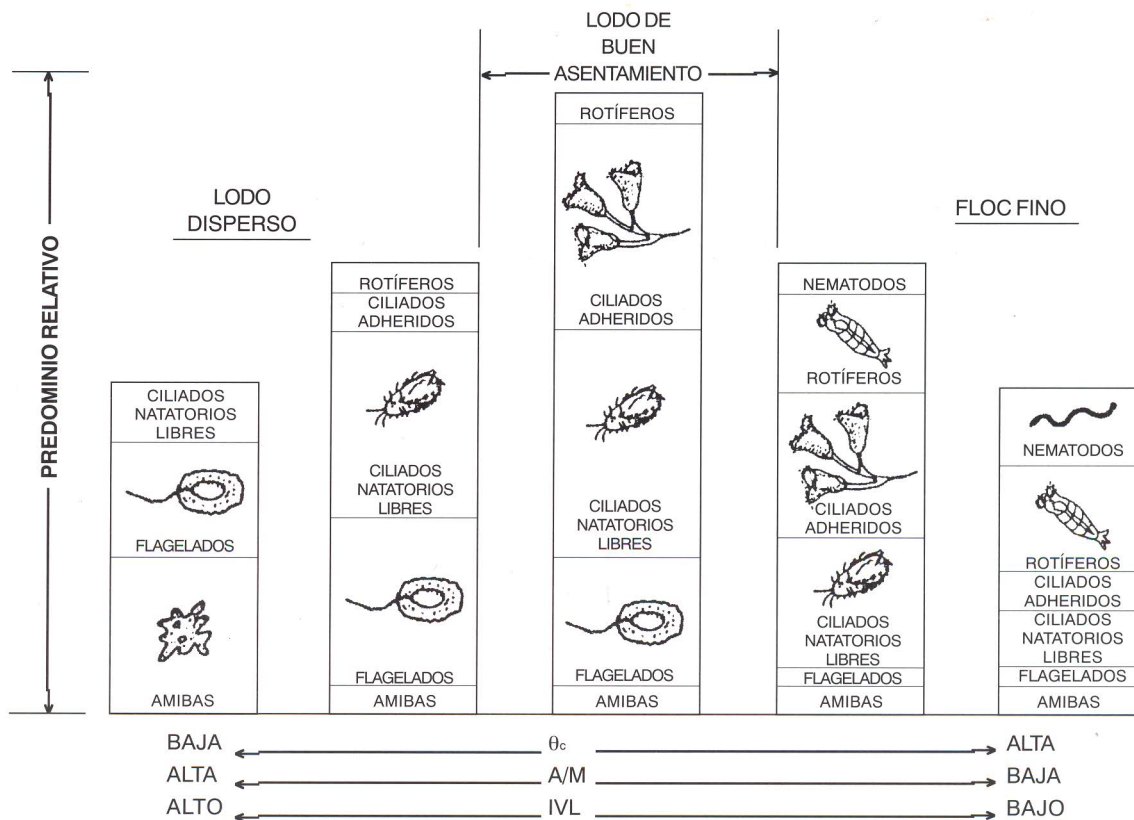


Figura 2. Número relativo de microorganismos contra calidad del lodo (3-5).

- Cambiar la tasa de recirculación y el punto de dosificación de los lodos. El aumento de la recirculación disminuye la pérdida de sólidos en el efluente. La retención de lodo, por períodos prolongados en el sedimentador crea condiciones anóxicas controladoras de ciertos organismos filamentosos, pero también puede agravar el problema al fomentar los organismos filamentosos oxidantes de sulfuros.
- Agregar polímeros y, o coagulantes, solos o en combinación, para mejorar la sedimentabilidad del lodo. Sin embargo, esto puede conducir a un costo mayor de tratamiento y posiblemente a una mayor cantidad de lodos de desecho.
- Aplicar cloro al retorno de lodos o al contenido del reactor aireado, para reducir la población de microorganismos filamentosos. La dosis debe ajustarse de tal manera que sea letal a

- los organismos filamentosos que se extienden en la superficie del floc, pero que no lo sea para los organismos internos formadores de éste.
- Mantener una relación apropiada de nutrientes. En general, para una remoción orgánica adecuada se recomienda una relación de DBO/N/P de 100/5/1. Para asegurar la existencia de nutrientes en cantidad conveniente se acostumbra controlar la concentración de nitrógeno y fósforo en el efluente. La permanencia de 1.0 mg/L - N de nitrógeno inorgánico (amoniaco + nitratos) y de 0.2 mg/L - P en el efluente garantiza un suministro suficiente de nutrientes. Deficiencias de dichos elementos se pueden suplir mediante amoníaco anhidro, sales de amonio como el sulfato de amonio, cloruro de amonio o nitrato de amonio, así como con urea para nitrógeno y con ácido fosfórico, fosfato de sodio o fosfato de amonio para fósforo.

- Controlar la septicidad del afluente pues las aguas residuales sépticas contienen cantidades elevadas de sulfuros y de ácidos grasos de baja masa molecular, los cuales pueden promover el crecimiento de organismos filamentosos. El control puede hacerse con oxidantes químicos como el cloro o el permanganato de potasio, o mediante precipitación con cloruro férrico.
- Mantener una concentración de oxígeno disuelto acorde con la carga orgánica del proceso, que prevenga el crecimiento de organismos filamentosos indeseables. Generalmente se recomienda una concentración de OD de 2 mg/L para relaciones alimento/microorganismos hasta de 0.5 kg DBO/kg SSVLM.d. Sin embargo, en algunas plantas se requieren concentraciones de OD mayores, especialmente en plantas para efluentes nitrificados.

Tabla 4
RELACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS CON LOS GRUPOS PREDOMINANTES DE ORGANISMOS SUPERIORES (1)

Condiciones	Grupos predominantes
Carga orgánica baja	Ciliados adheridos, rotíferos e invertebrados superiores, especialmente nematodos.
Carga orgánica óptima	Buena diversidad de organismos; dominan los ciliados libres y adheridos.
Carga orgánica alta	Flagelados, amibas y ciliados pequeños libres.







- Modificar la concentración de biomasa en el reactor, para así alterar la relación alimento/microorganismos y ajustarla al valor que permita controlar el hinchamiento de lodos causado por organismos filamentosos.

REFERENCIAS

- 1 Richard M., *Activated Sludge Microbiology*, WPCF., 1989.
- 2 Chua H. y Le K. Y., *A Survey of Filamentous Foaming in Activated Sludge Plants in Hong Kong*, *Wat.Sci.Tech.*, Vol. 30, No. 11, pp. 251-254, 1994.
- 3 EPA., *Process Control Manual for Aerobic Biological Wastewater treatment Facilities*, 430/9 - 77 - 006, U.S. EPA., Washington DC., 1977.
- 4 WPCF., *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*, MOP No. 11, Vol. II, 2ª Ed., 1990.
- 5 WPCF., *Activated Sludge*, MOP No. OM - 9, 1987.
- 6 Pitman A.R., *Settling Properties of Extended Aeration Sludges*, *Journal WPCF*, Vol. 52, p. 524, 1980

FECHA: _____
 OPERADOR: _____
 MUESTRA DE: _____

HORA: _____
 TEMP.: _____ °C

MICROORGANISMO		LÁMINA Nº 1	LÁMINA Nº 2	LÁMINA Nº 3	TOTAL
AMIBAS					
FLAGELADOS					
CILIADOS NATATORIOS LIBRES					
CILIADOS ADHERIDOS					
ROTÍFEROS					
GUSANOS					

PREDOMINIO RELATIVO:

1. _____
2. _____
3. _____

PROCEDIMIENTO:

1. Anote la fecha, hora, temperatura y localización de la muestra.
2. Prepare un mínimo de tres láminas por muestra.
3. Examine cada lámina y cuente el número de microorganismos en cada grupo.
4. Use una marca o símbolo para cada microorganismo contado, en cada espacio del grupo correspondiente.
5. Al final, totalice el número de organismos contados en cada grupo.
6. Los 3 totales más altos constituyen los organismos predominantes.

Figura 3. Examen microscópico de lodos activados (3-5).