

aducidas para la utilización que aún se hace, de ese tipo de tratamiento, son las siguientes (44): No presenta dificultades de operación; no necesita gran equipo; no produce, prácticamente, cantidades apreciables de moscas y mosquitos; los filtros son de fácil mantenimiento; el efluente es transparente; la remoción de bacterias es muy grande, no habiendo, generalmente, necesidad de clorar el efluente; es el proceso que presenta mayor grado de remoción de DBO (98%). Por otro lado, los filtros de arena presentan los siguientes inconvenientes principales: exigen grandes áreas de terreno (cerca de 20 veces más grandes que las exigidas por los filtros biológicos); no siempre se encuentran, en la localidad, arenas con características ideales para la filtración; no se puede impedir el crecimiento de maleza en el lecho filtrante, la cual es preciso eliminar periódicamente; no es muy fácil una buena distribución del desague por todo el lecho.

El buen funcionamiento de esos filtros depende principalmente (43) de un pretratamiento eficiente del desague; eficiencia del sistema de drenaje; periodicidad y volumen adecuado en la aplicación del desague; características de la arena, en cuanto al tamaño y uniformidad de los granos (espacios muy reducidos entre los granos, además de impedir el suficiente aireamiento, para las actividades de oxidación, restringe el desarrollo de microorganismos y dificulta la salida del lodo. Además de esto, esos espacios son fácilmente obstruidos por partículas contenidas en el desague, lo que disminuye la tasa de filtración).

La zona más eficiente en el tratamiento está constituida por la capa superficial de arena que va hasta los 30 cm. de profundidad, comprobándose (45) que en esa capa se encuentra la mayor parte de las bacterias formadoras de flocs, así como gran población de protozoarios. Las bacterias son las principales responsables del tratamiento que se realiza en los filtros intermitentes (44). Proliferan, adheridas a los granos de arena, formando una masa adsorbente capaz de oxidar la materia orgánica. Entre las bacterias que habitan este tipo de filtros, se destacan por orden de creciente predominancia: Zooglea ramigera; Bacillus cereus; bacterias amarillas, como Flavobacterium aquatile; Alcaligenes faecalis; actinomicas, como Nocardia y Streptomyces, siendo Nocardia mucho más frecuente que el último. Los protozoarios son Colpoda y Paramecium que, no obstante, pueden desaparecer en ciertas épocas, probablemente debido a las variaciones de temperatura, humedad, etc. Además de estos dos géneros, pueden aparecer Colpidium, Tetrahymena, Glaucoma y Leucophrys, que se alimentan de bacterias (como los dos anteriores). El flagelado Peranema, puede, también, aparecer en cantidades apreciables. Además son muy frecuentes, alcanzando números elevadísimos, las amebas, tanto testáceas, como descubiertas. Se encuentran, también metazoarios, anélidos, platelmintos, nemátodos, rotíferos, ácaros, insectos adultos y larvas. Todos estos, como también los protozoarios, parecen tener gran importancia en la remoción del lodo y del exceso de

zooglea que, cuando existe en gran cantidad, puede disminuir mucho la tasa de filtración.

Una vez reconocida la actividad biológica de los microorganismos que proliferan sobre los granos de tierra o de la arena, como principal factor en el tratamiento de los desagues, y que esa actividad depende de una adecuada ventilación que constituye fuente de oxígeno para la descomposición aerobia, se procura reducir el área necesaria para el tratamiento, construyendo filtros de mayor altura (o profundidad) (42). Como ya se dijo, la capa activa de un filtro de arena o del suelo no sobrepasa los 30 cm de espesor, ciertamente debido a la deficiente ventilación existente en las capas más profundas. Además, quedó perfectamente establecido que lo importante, en un filtro biológico, es el área ocupada por los microorganismos, en relación a la cantidad de desague que lo atraviesa, no habiendo necesidad de disponer de poros muy finos, que por lo demás, son hasta perjudiciales por obstruirse con facilidad. Se sustituyeron así, los granos de arena por pedazos de carbón coque o piedras, de preferencia porosas, a fin de proporcionar gran superficie de contacto. Con estas piedras se llenan tanques donde se lanza el desague, intermitentemente, sumergiendo completamente el material poroso en cuya superficie se desarrollan microorganismos capaces de adsorber y oxidar el desague. En esos lechos de contacto, no obstante, se desarrollan fácilmente, con condiciones de anaerobiosis, lo que da origen a la formación de una flora y fauna mixtas, como la presencia de la sulfobacteria Beggiatoa al lado de aerobios como Zooglea ramigera. Posteriormente, se introdujo la aireación forzada, por medio de la difusión del aire en el interior de los tanques por contacto. Aún así, no es un proceso de gran rendimiento. El lodo se sedimenta, en el fondo de las cámaras, siendo necesario limpiar con frecuencia. Además de los microorganismos citados, se encuentran en gran número, en esos lechos, los géneros Oicomonas, Tetramitus, Paramecium, Metopus (43).

Transformando el sistema intermitente en sistemas de lanzamiento continuo, se creó el llamado filtro o lecho biológico, bastante empleado en las modernas plantas de tratamiento de desagues. Lanzado el desague, continúa y uniformemente distribuida sobre la superficie de un gran volumen de cascajos, hay formación, sobre éstos, y en pocas semanas, de una película gelatinosa activa, constituida por hongos, bacterias, algas, protozoarios, etc. Después de completada la formación de esa capa activa, el filtro permanece en funcionamiento continuo. Los filtros biológicos pueden ser de baja capacidad, o filtros "standard", cuando es pequeño el volumen de desague aplicado por unidad de tiempo, y filtros de alta capacidad, cuando el volumen es mayor. En este último caso, el efluente es generalmente rico en materia en suspensión, además de flocs biológicos activos o muertos que constituyen, por así decir, el exceso de material acumulado sobre los cascajos y que se remueve por la acción mecánica del flujo continuo del desague. En los casos de filtros de baja capacidad ese material permanece en el filtro, siendo totalmente oxidado o ingerido por una

fauna de macro-invertebrados. El efluente es más claro, sin embargo, en el tipo anterior; se comprobó que los flocs se multiplican con mucho mayor rapidez, además de no obstruir los intersticios, ya que el exceso continuamente se remueve.

Cooke y Hirsch (46) mencionan la siguiente composición de la capa de gelatina biológicamente activa, que recubre cada uno de los cascajos de las capas superficiales: una película superior, o capa superficial, en la que existe predominancia de hongos, pero, donde se encuentran, también, bacterias y protozoarios; debajo de ésta se encuentra una capa espesa, la capa intermedia, donde hay predominancia de algas filamentosas o no (solamente en los cascajos alcanzados por la luz) incluyendo filamentos de hongos, además de protozoarios y gusanos nemátodos; finalmente, debajo de ésta y adherida a la superficie de la piedra, penetrando parcialmente en sus reentrantes, existe una capa basal constituida por un micelio de hongo que envuelve células de bacterias, algas y protozoarios. En las regiones del filtro o cascajo donde la iluminación es menos intensa, puede faltar la primera capa de hongos, quedando la capa de algas directamente expuesta. Además de esto, se encuentran, en cantidad, organismos móviles tales como algas, protozoarios, etc. que se desplazan a través de todas estas capas. Esa estructura parece ser constante en los cascajos permanentemente lavados por el desagüe: tan sólo las especies o aún los géneros pueden variar en épocas diferentes, o de un tipo a otro de filtro, como por ejemplo, de un filtro de alta capacidad de filtración a otro de baja capacidad. La denominación de zooglea, para esa gelatina, parece inadecuada en el caso de estos filtros, ya que ella está constituida, en verdad, por una gran variedad de microorganismos y no apenas por bacterias. A simple vista no se puede notar la presencia de hongos o bacterias, a no ser en ciertas ocasiones, en que la masa biológica toma coloración anaranjada, debido a la formación de esporas de los hongos de tipo Fusarium aquaeductuum. El micelio del hongo, que se prende a las piedras, parece tener, además de la función de descomponer la materia orgánica, el papel de fijar las colonias de bacterias, impidiendo que se desprendan de las piedras, por lo menos en ciertas épocas del año. Los hongos más frecuentemente encontrados en los filtros de alta capacidad, por orden decreciente de frecuencia son: Fusarium aquaeductuum, Geotrichum candidum, Pullularia pullulans. En los filtros de tipo "standard" son: Corriothyrium fuckelli, Fusarium aquaeductuum y Geotrichum candidum, Sepedonium sp., Ascoides rubescens, etc. Eventualmente, pueden formarse espesos tapetes cenicientos o blancos de Leptomitus lacteus en áreas limitadas de los filtros de alta capacidad, en las épocas más frías del año. Además de éstos, pueden citarse decenas de otras especies de hongos que habitan los cascajos de los filtros biológicos.

Entre las algas, figuran, generalmente, los géneros comunes en aguas contaminadas: Stigeoclonium, Euglena, Chlorella, Oscillatoria y Phormidium, que son más frecuentes. También se encuentran musgos y hepáticas (Marchantia). Entre

las bacterias, se encuentran presentes, además de las especies formadoras de zooglea, algunas que descomponen compuestos nitrogenados (Nitrosomonas y Nitrobacter) y muchas otras, responsables de varias funciones. Se encuentran, también cuando las condiciones son favorables, tubos de bacterias filamentosas del género Sphaerotilus, que son la causa frecuente de obstrucciones, además de Beggiatoa y bacterias anaerobias, principalmente en la base de la película de gelatina, cuando ésta es espesa, originando condiciones propicias; también se encuentran allí espirilos y Chromatium.

Los protozoarios se sitúan generalmente en las capas superficiales, siendo más frecuentes: Epistylis y Opercularia (30) Paramecium, Oxytrichia, Euplotes y el anaerobio Metopus, representando a los ciliados, devoradores de bacterias; amebas y flagelados están, también, muchas veces presentes (Amoeba, Vahlkampfia). Además se encuentran gusanos tales como los anélidos Tubifex y Limnodrylus, nemátodos, etc., y larvas de insectos, principalmente, Psychoda, Polypedilum, Harnischia, Cricotopus y Glycotendipes. También ácaros de los géneros Histiogaster e Histiosoma son frecuentes. Todos estos organismos son benéficos para el tratamiento por ingerir materia orgánica. Sin embargo, se citan a veces, como nocivas, las formas adultas de moscas del género Psychoda que, cuando se presentan en gran número, pueden tornarse desagradables. Las soluciones indicadas para la remoción del exceso de estos organismos indeseables son la inundación del filtro (30), o la aplicación de insecticidas (B.H.C., en una proporción de 1.5 kg de isómero gama por hectárea, en el control de Psychoda y Anisopus) a pesar de que esta última puede alterar el balance ecológico y producir efluentes tóxicos.

Ultimamente, son los autores ingleses los que más se han dedicado al estudio de la ecología de los lechos o filtros biológicos, ya que este tipo de tratamiento -principalmente en vista de su poca flexibilidad- ha sido cada vez más, relegado en favor de los lodos activados, de creciente interés, gracias a los innumerables adelantos en el campo de la técnica de la aireación superficial, con que vienen siendo beneficiados en los últimos diez a quince años. La persistencia del interés, por parte de los ingleses, en continuar perfeccionando los lechos biológicos se justifica por el hecho de ser sus efluentes -cuando el sistema está bien operado- bastante más satisfactorios, bajo ciertos aspectos, entre los cuales se destaca el de la nitrificación. Dada la pequeña extensión (y consecuente capacidad de autopurificación) de los ríos ingleses, sus exigencias con respecto a las características físicas, químicas y biológicas de los efluentes de plantas de tratamiento de desagüe deben ser realmente mucho más rígidos.

Hawkes, uno de los autores ingleses que mayores contribuciones ha dado, en los últimos años, al campo de la ecología y dinámica de las poblaciones de los lechos biológicos,

menciona la siguiente composición, como típica de los filtros que operan con desagües de tipo doméstico (47): las bacterias heterotróficas formadoras de zooglea constituyen los consumidores primarios de la materia orgánica predominante, pudiendo ser consideradas como los principales agentes primarios de la purificación, mientras que los agentes finales serían las bacterias autotróficas nitrificantes, las cuales no pudiendo competir con las heterotróficas en las regiones ricas en nutrientes orgánicos, se encuentran localizadas en las regiones más profundas del "filtro".

Los hongos rivalizan con las bacterias heterotróficas, como consumidores primarios del alimento orgánico de los desagües. Pero en los desagües esencialmente domésticos, pueden estar ausentes o existir en cantidades insignificantes. El desarrollo exuberante de los hongos -llegando hasta la predominancia, en la superficie del lecho-está asociada principalmente a las bajas temperaturas (directa o indirectamente) y a la presencia de residuos industriales y otros factores nutritivos.

Hawkes (48) investigando la influencia de los varios factores estacionales sobre el desarrollo de hongos en los cascajos, pudo observar que, aunque esos vegetales cuando se encuentran en cultivo puro, crecen mucho mejor en las altas que en las bajas temperaturas (aunque la tasa de lisis sea también elevada) la masa del micelio producida en el lecho biológico es mayor en los períodos de invierno y primavera que en los períodos de temperatura más elevada, esto independientemente de su consumo por otros organismos. La explicación para esta aparente contradicción está en el hecho de ser, la concentración de nutrientes, en este caso, el principal factor limitativo por considerarse y, aumentando grandemente la tasa respiratoria en los períodos de mayor calor, la acumulación de productos de síntesis se hace mucho menor. También en esa investigación, se pudo comprobar que las fluctuaciones de la productividad de hongos, de acuerdo con los cambios de estación en el año, son el resultado de la competencia entre bacterias y hongos, así como del ataque bacteriano al micelio; las bajas temperaturas y la mayor concentración de carga del desagüe en el invierno favorecen a los hongos, mientras que las condiciones opuestas, del verano, favorecen a las bacterias y limitan los hongos. Además de esto, mucho mayor es la destrucción de hongos cuando la temperatura es elevada.

Los hongos, aunque consumidores primarios de la materia orgánica de los desagües -tal como las bacterias heterotróficas- forman una masa biológica (biomasa) mucho mayor que la de zooglea, para oxidar la misma cantidad de material (47). Según Painter (50), 5 a 30% de los sólidos totales de la película biológica está constituido por los hongos. Por este motivo, aunque los hongos en instalaciones que tratan residuos industriales, sean muy útiles, el control de su desarrollo es frecuentemente deseable, en los lechos biológicos, a fin de que no haya obstrucción que puede llevar a la inunda-

ción del lecho. En instalaciones de alta capacidad, generalmente, la propia velocidad de escurrimiento del líquido a través de los intersticios de las capas de cascajos es suficiente para remover el exceso de la masa biológica formada, pudiendo, en ese caso, ser importante, la "red" constituida por el micelio, como soporte para mayor retención de un mínimo de película biológica sobre cada cascajo; en filtros clásicos de baja capacidad, sin embargo, la velocidad del agua no es suficiente, pasando a desempeñar papel de gran importancia, en ese control, la fauna destructora, constituida por invertebrados que "pastan" sobre los cascajos. Los más importantes "segadores", entre los microorganismos, son los gusanos nematodos, aunque muchos otros animales cooperan, también, de manera eficiente: rotíferos y tardígrados, y entre los macroinvertebrados, se destacan algunos anélidos (*Lumbricillus*, *Enchytraeus*, etc.), moluscos, ácaros e insectos. Los colembolos *Hypogastrura viatica* (*Achourutes subviaticus*) han sido exportados de Inglaterra para ser inoculados en filtros biológicos de Armenia, Europa y Africa (47).

La composición de esa fauna varía, también, de acuerdo a los factores ambientales, como: tamaño de los cascajos, velocidad de flujo y distribución o forma de las boquillas distribuidoras del líquido sobre el lecho de cascajos. Cuando esas boquillas producen salidas espaciadas entre sí, el flujo del desagüe para abajo varía a través del lecho, formándose dos tipos de ambientes o nichos físicos, resultando una división horizontal, por zonas, de la fauna. Los gusanos oligoquetos, además de ciertas larvas de mosquitos ocupan la zona que recibe el desagüe directamente, mientras que los insectos colembolos (*Hypogastrura viatica* - *Achourutes subviaticus*) y otras larvas son más comunes en la zona inter-chorros. La comparación de diferentes tipos de boquillas distribuidoras muestra que los chorros espaciados crean condiciones que permiten la existencia de fauna más variada que las boquillas con forma de "cola de pez" o "pico de pato" (51). Las fluctuaciones de frecuencia de los varios tipos de segadores, en las diferentes estaciones del año, se determinan principalmente por la mayor o menor abundancia de su alimento, que es la masa de hongos. Los animales que soportan temperaturas bajas, de invierno (oligoquetos, larvas del díptero *Anisopus fenestralis*) son más abundantes en ese período, asumiendo importancia primordial, como controladores de la masa biológica en el período de su mayor desarrollo (49).

La limitación al crecimiento de hongos es posible, también, mediante la introducción de modificaciones en la operación de los filtros biológicos. Entre esas técnicas modificadas, se mencionan la recirculación y la doble filtración alternada y -el proceso que Hawkes (49) considera más eficiente- reducción de la frecuencia con que son aplicadas cargas sucesivas de desagüe en el lecho. En lechos circulares, esto puede lograrse reduciendo la velocidad de rotación del distribuidor rotativo. Este método, no obstante, significa la necesidad de elevar las tasas de aplicación instantánea del desagüe a fin de que pueda mantenerse la misma productividad del sis-