

tema. La limitación del desarrollo de la masa biológica puede ser eficiente, también, en el control de moscas indeseables.

En las capas superficiales de los lechos descubiertos, puede presentarse un número elevado de algas, que, apesar de formar parte integrante de la masa biológica, no son consumidores de materia orgánica y, según Bartsch (52) no contribuyen, fotosintéticamente, con más de 5% del oxígeno necesario para cubrir la demanda respiratoria de la masa biológica del lecho.

#### 6.3.2.6.2. Lodos Activados.

El principio del tratamiento que se realiza en el proceso de lodos activados es, esencialmente, el mismo ya estudiado en los anteriores. El elemento activo es el floc, formado por bacterias y otros organismos. La diferencia esencial está en que, en este proceso, no hay propiamente un substrato sólido para fijación de esos organismos, o si lo hay, está constituido por las propias partículas en suspensión en el desague. De esto resulta, evidentemente, una economía de espacio en los aparatos, que no tienen necesidad de ser llenados con cascajos u otro material de gran superficie. La superficie total de las partículas de lodo en suspensión es mucho mayor que la de los cascajos. Una segunda característica del proceso es la de que, siendo los flocs móviles y no fijos permanentemente en una determinada posición del aparato, pueden ser retirados del desague que ya se encuentra en una fase adelantada de oxidación y transferidos al desague bruto o en inicio de tratamiento, bajo forma de lodo de retorno, que acelera el proceso no sólo en virtud de la gran capacidad purificadora que tiene, sino también por constituir, ese retorno, una verdadera inoculación en masa de microorganismos purificados que se reproducirán rápidamente en un medio nuevo. La insuflación constante del aire, puede realizarse por medio de bombas, bajo presión, o por el movimiento de la masa líquida a través de la rotación de palas, cepillos u otros medios que remuevan su superficie en constante contacto con el aire atmosférico promoviendo la aireación superficial. Estos procesos no sólo ofrecen el oxígeno indispensable para la actividad respiratoria de los microorganismos depuradores, sino que también promueven la agitación del medio, distribuyendo uniformemente el lodo constituido por los flocs en toda la masa líquida.

En lo que se refiere a la naturaleza del floc o coágulo ya se describió en las páginas anteriores. Incluye, además de bacterias, gran número de otros organismos, tales como, hongos, protozoarios, algas, rotíferos, nemátodos y, algunas veces, larvas de insectos. Cuando, en su interior, existen condiciones de anaerobiosis parcial, pueden encontrarse organismos como Beggiatoa, etc. En general existe una matriz gelatinosa, donde se encuentran incluidos los organismos. Existen flocs constituidos por un solo tipo de organismos, como Zooglea ramigera o Sphaerotilus natans. El floc, como ya dijimos, tiene un papel de agente físico-químico en la purifica-

ción, dada su naturaleza esencialmente coloidal, adsorbiendo partículas; no obstante, además de esto, desempeña un papel biológico, asimilando la sustancia orgánica para transformarla, parte en energía y parte en nuevos organismos, a través del proceso de la síntesis. El floc puede ser así considerado casi como un elemento vivo, que se nutre y crece; también, el floc puede morir, dando origen a la formación, en su interior, de un ambiente anaerobio que determina la muerte de los elementos aerobios característicos de su estructura (43).

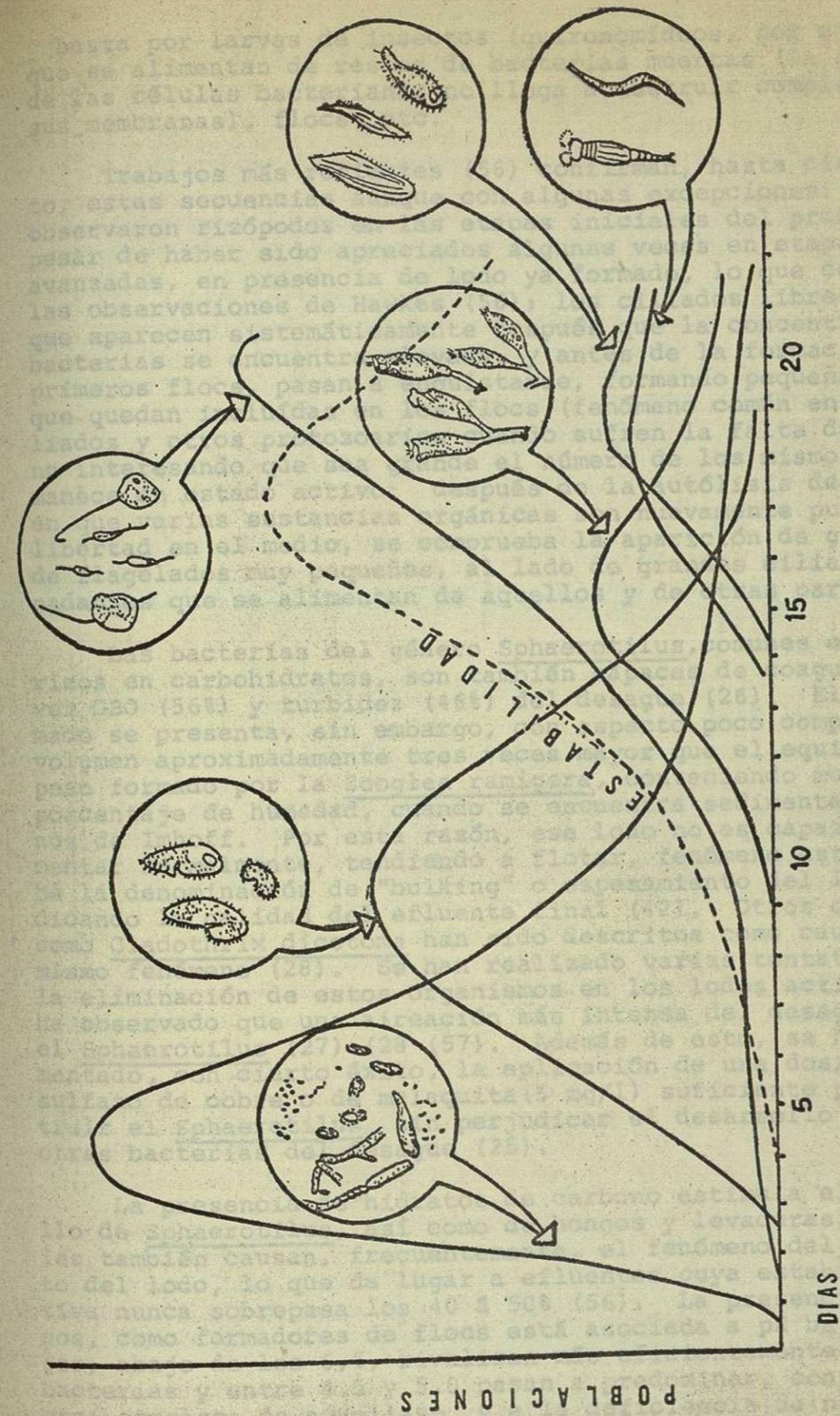
Además de Zooglea ramigera, se comprobó la presencia de otras bacterias en el floc (53): Bacillus cereus, Escherichia intermedium, Paracolobactrum aerogenoides, Nocardia actinomorphila y una perteneciente al género Flavobacterium. Con excepción de la primera, todas estas bacterias realizan remoción de DBO en el desague, en las siguientes proporciones relativas: E. intermedium: 76%; P. aerogenoides: 76%; N. actinomorphila: 88%; Flavobacterium: 78%. Además de éstas, otras bacterias, como Aerobacter aerogenes son también eficientes en la purificación, aunque menos activas que las anteriores. Más recientemente, muchas otras bacterias formadoras de flocs han sido apartadas de los lodos activados (22). La presencia en gran número de protozoarios en el floc, especialmente ciliados, como Vorticella, Paramecium y Blepharisma constituye un importante indicio de buenas condiciones del lodo activado, ya sea por su papel como reguladores del número de bacterias o por contribuir en la formación de su propio floc y también remover DBO, como ya fué mencionado.

En la oxidación biológica que se realiza en el proceso de lodos activados, se tienen que considerar los siguientes hechos ya citados anteriormente: primero, que la formación de flocs con capacidad adsorbente depende de una INACTIVIDAD PARCIAL DE LAS BACTERIAS, ya que, de otro modo, éstas no se aglutinan: esa inactividad puede ser provocada por una nutrición deficiente o por una elevada tasa de oxigenación, actuando ambas en el sentido de reducir la cantidad de energía disponible de las bacterias, las cuales no tendrán, en consecuencia, fuerzas suficientes para vencer la atracción producida por las fuerzas de Van der Waals; por otro lado, se debe recordar que la mayor tasa de metabolización de las bacterias y consecuentemente, la mayor capacidad de remoción de DBO se presenta en las fases logarítmicas y de declinación del crecimiento bacteriano, mientras que en la fase endógena, o sea, cuando, debido a un exceso de aireación y ausencia de nutrientes, las bacterias pasan a auto-digerirse, éstas exhiben capacidades metabolizadoras muy reducidas. Así, cuando se presenta la oxidación total, en los lodos activados, hay formación de flocs de alta capacidad adsorbente pero de pequeño poder oxidante. Este lodo puede auto-destruirse, muriendo más bacterias que las que se forman por síntesis, resultando como sub-producto, CO<sub>2</sub>, agua y amoníaco en el desague. Se procura, pues obtener una situación intermedia, a través de una adecuada introducción de desague y de oxígeno, a fin de obtener bacterias con suficiente capacidad de purificación, pero que al mismo tiempo no disponga de energías tan grandes que les permitan escapar a la formación de flocs adsorbentes. En la fase logarítmica ocurre 90% de la remoción de DBO y esto se presenta en los primeros 20 minutos de aireación. La

DBO permanece almacenada, bajo la forma de glucógeno, en las bacterias, para ser metabolizada en la fase siguiente, o de declinación, resultando de esa metabolización, la formación de energía y de nuevas células (33). Evidentemente esas fases no se observan claramente en una planta de tratamiento en la que el abastecimiento de desague es continuo. Es necesario pues, que el suministro de oxígeno sea calculado, en función de la entrada del desague, a fin de evitar en los aparatos, un crecimiento logarítmico, sin coagulación, o una fase endógena, poco productiva, causada por un deficiente suministro de alimento para las bacterias.

La ecología de los lodos activados, por lo menos en lo que se refiere a la dinámica de las poblaciones de microorganismos, no ha sido suficientemente estudiada. La proliferación de diferentes tipos de microorganismos que se suceden unos a los otros en una muestra de desague orgánico sometida a constante aireación, es consecuencia de la sucesión de transformaciones químicas y físicas que van ocurriendo en el transcurso de la estabilización. De esta manera, el reconocimiento de los grupos predominantes en determinado instante permite, al biólogo, distinguir la eficiencia del tratamiento o el grado de estabilización alcanzado. Las bacterias (u hongos, y aún algunos protozoarios) son holofíticas, o sea que se nutren de alimentos en solución o solubilizados externamente por acción enzimática de ellas mismas. De esta forma, mientras haya predominancia de compuestos orgánicos solubles, solamente se encontrarán tales organismos. Por otro lado esa situación tiende a perdurar mientras haya exceso de alimento, por la razón ya expuesta, de que las bacterias no se aglutinan ni forman flocs mientras el nivel energético del medio permanezca elevado. Luego, no obstante, aparecen los primeros protozoarios holozoicos (que se nutren de partículas) alimentándose de las propias bacterias dispersas y después, de los flocs formados.

De acuerdo con las observaciones originales de Barker (54) y las referencias de Hawkes (47) y de McKinney (55) los primeros protozoarios que aparecen en tales secuencias ecológicas son los rizópodos (amebas) que luego dan lugar a los flagelados incoloros que luego son sustituidos por los ciliados libre nadantes, holozoicos, los cuales alcanzan gran concentración, alimentándose de las bacterias, pero que principian a disminuir cuando la población bacteriana también disminuye, ya que, siendo organismos dotados de gran actividad locomotora, demandan cantidades extraordinariamente grandes de energía. En la fase de los flocs bien formados aparecen, en concentraciones relativamente elevadas, los ciliados fijos, pedunculados o no, pero que siendo organismo fijos, requieren menores cantidades de alimentos. Por coincidir su mayor concentración con la presencia de buena coagulación es que estos últimos organismos son universalmente reconocidos como indicadores de buenas condiciones en el funcionamiento del sistema. Al proseguir con el proceso, el sistema puede alcanzar grados de estabilización aún más elevados, con desaparición de los propios ciliados fijos que serán reemplazados por rotíferos, nemátodos



Representación esquemática de las curvas de poblaciones de microorganismos, en relación al tiempo de aireación y a la estabilización, en un desague orgánico industrial.

NOTA: Los números de microorganismos no están en la misma escala.

hasta por larvas de insectos (quironómidos, por ejemplo), que se alimentan de restos de bacterias muertas (la autólisis de las células bacterianas no llega a destruir completamente sus membranas), flocs, etc.

Trabajos más recientes (56) confirman, hasta cierto punto, estas secuencias aunque con algunas excepciones: jamás se observaron rizópodos en las etapas iniciales del proceso, a pesar de haber sido apreciados algunas veces en etapas más avanzadas, en presencia de lodo ya formado, lo que confirma las observaciones de Hawkes (56); los ciliados libre-nadantes, que aparecen sistemáticamente después que la concentración de bacterias se encuentra elevada, y antes de la formación de los primeros flocs, pasan a enquistarse, formando pequeñas esferas que quedan incluidas en los flocs (fenómeno común entre los ciliados y otros protozoarios cuando sufren la falta de alimentos) no interesando que sea grande el número de los mismos que permanece en estado activo; después de la autólisis de bacterias, en que varias sustancias orgánicas son nuevamente puestas en libertad en el medio, se comprueba la aparición de gran número de flagelados muy pequeños, al lado de grandes ciliados libre-nadantes que se alimentan de aquellos y de otras partículas.

Las bacterias del género Sphaerotilus, comunes en desagües ricos en carbohidratos, son también capaces de coagular y remover DBO (56%) y turbidez (46%) del desagüe (26). El lodo formado se presenta, sin embargo, con aspecto poco compacto, con volumen aproximadamente tres veces mayor que el equivalente en peso formado por la Zooglea ramigera, conteniendo mucho mayor porcentaje de humedad, cuando se encuentra sedimentado en conos de Imhoff. Por esta razón, ese lodo no es capaz de sedimentar normalmente, tendiendo a flotar, fenómeno este que recibe la denominación de "bulking" o espesamiento del lodo, perjudicando la calidad del efluente final (42). Otros organismos como Cladotrix dicotoma han sido descritos como causantes del mismo fenómeno (28). Se han realizado varias tentativas para la eliminación de estos organismos en los lodos activados. Se ha observado que una aireación más intensa del desagüe elimina el Sphaerotilus (27) (28) (57). Además de esto, se ha experimentado, con cierto éxito, la aplicación de una dosis de cloro, sulfato de cobre o de malaquita (5 mg/l) suficiente para destruir el Sphaerotilus sin perjudicar el desarrollo normal de otras bacterias del desagüe (25).

La presencia de hidratos de carbono estimula el desarrollo de Sphaerotilus, así como de hongos y levaduras, los cuales también causan, frecuentemente, el fenómeno del espesamiento del lodo, lo que da lugar a efluentes cuya estabilidad relativa nunca sobrepasa los 40 a 50% (56). La presencia de hongos, como formadores de flocs está asociada a pH bajo - los hongos, abajo de los 6.5, rivalizan más eficientemente con las bacterias y entre 4.5 y 5.0 pasan a predominar, con exclusión casi completa de aquellas - y a la deficiencia de nitrógeno (55) o de fósforo (56).