

los elementos que intervienen en la formación del H_2S , no se debe olvidar que esa transformación sólo tiene lugar por actividad de las bacterias estrictamente anaerobias (las sulfatos reductoras) y, por lo tanto, solamente, en ambientes sin oxígeno, y de bajo pH. Así, si en una laguna de fotosíntesis la producción de oxígeno es suficiente y su distribución es homogénea, o si el pH del ambiente es elevado, la producción de hidrógeno sulfurado es imposible, aunque sean altas las concentraciones de sulfatos. Además, cuando las condiciones anaerobias favorecen a la actividad de las bacterias reductoras, la producción del hidrógeno sulfurado es probablemente posible aún en ausencia de sulfatos, a partir de aminoácidos que tengan azufre en su molécula. Con respecto, pues, a la producción de malos olores en una laguna de estabilización, es importante garantizar un buen suministro de oxígeno (si se trata de una laguna aerobia) o una ausencia completa de este elemento, al mismo tiempo que un pH no inferior a 7.0 (en una laguna anaerobia). En este último caso, se busca la obtención de una estabilización metánica, como se verá en los próximos capítulos. Una intensa actividad fotosintética, en las lagunas aerobias, puede ser suficiente para mantener, además de la concentración de oxígeno, un pH bastante elevado. Por otro lado, la presencia de H_2S originado en un sector anaerobio de la laguna puede ser perjudicial a la laguna por ser un factor inhibidor de la fotosíntesis porque destruye la clorofila de las algas.

7: pH.

El pH de las lagunas de estabilización está sujeto a grandes variaciones que ocurren en diferentes estaciones u horas del día. La principal causa de esas variaciones está en el consumo del anhídrido carbónico realizado por las algas, en el proceso de la fotosíntesis. Siendo así, el anhídrido carbónico que es el principal responsable de la acidez de las aguas de la laguna, puede disminuir mucho durante las horas claras del día, cuando la actividad fotosintética supera la respiración de las bacterias y de las propias algas. La concentración de CO_2 se restablece durante la noche, cuando cesa la fotosíntesis, pasando a preponderar la oxidación de la materia orgánica. Por otro lado, la liberación de amoníaco que se presenta en las fases iniciales del proceso de oxidación, tiende a elevar el pH, pero en mucho menor escala que la elevación debida al consumo de CO_2 . El pH del efluente, en días favorables, puede llegar a 11.0 y el efecto tamponador de los carbonatos es muy pequeño, siendo frecuente observar un pH de 9.5 en aguas que contienen 400 mg/l de $CaCO_3$, con variaciones no mucho mayores a una unidad (71) (73).

El pH puede interferir de varias maneras, en los procesos de purificación en las lagunas. Estudios realizados con la intención de investigar la posibilidad de variaciones en la flora algológica relacionada con el pH no lograron dar resultados muy positivos, dando la impresión de que esos organismos no son susceptibles sino a variaciones extremas. Sin embargo, los diferentes factores relacionados con la variación del pH pueden ejercer acciones de otro orden sobre las

algas (64) y ya se mencionó, entre otros, el hecho de que el pH superior a 9.0 puede causar la precipitación del fósforo - bajo la forma de orto-fosfatos insolubles, limitando el crecimiento de las algas. Además de esto, muchas bacterias son sensibles a variaciones más allá de los límites de 6.0 y 9.0 y la propia tasa de fotosíntesis puede reducirse por la elevación muy acentuada del pH. El control del pH, en una laguna de estabilización, puede realizarse a través del control de la descarga del efluente y de la profundidad de la laguna, haciendo variar la tasa, en diferentes horas del día, aumentándola siempre que las condiciones de luminosidad y temperatura favorezcan la realización de la fotosíntesis. Además, habiendo una fase de tratamiento primario y digestión de lodos es siempre posible bombear este material en la fase ácida de la digestión, introduciéndolo en la laguna cuando el pH sea demasiado alto (71).

8. Carga de DBO y Area de la Laguna.

Es de fundamental importancia el estudio de la carga de DBO que debe ser lanzada a la laguna, o sea, el número de kilogramos de DBO por lanzarse al día, por unidad de superficie o de volumen de la laguna. Una carga excesiva puede causar la aparición de condiciones sépticas, permitiendo flora y fauna anaerobias, con la consecuente producción de mal olor, etc. La carga permitida varía, naturalmente, con diversos factores, inclusive con factores estacionales, relacionados principalmente con el tiempo de insolación diaria y, más aún, con la temperatura. En las regiones de clima templado, en que hay congelamiento de la superficie de la laguna en un período del año, la aparición de esas condiciones sépticas, aún con cargas mínimas es inevitable, durante un período variable de tiempo, en que se acumulan lodos en proceso muy lento, casi nulo, de digestión debido a la inactividad de las bacterias, aún anaerobias, por falta de temperatura. La descomposición anaerobia será intensa, en ese caso, al iniciarse la primavera, cuando desaparece la capa de hielo y el calor permite actividad bacteriana sensible. En los climas en que el invierno es menos rígido las variaciones no son tan grandes. La carga de desague expresada en kilogramos de DBO por día por metro cúbico (y no por metro cuadrado) adoptada por algunos autores (66) toma más en cuenta los efectos de la temperatura que se tornan importantes, como ya hemos visto, siempre que se pueda contar con una intensidad luminosa, mínima de 4,000 a 5,000 lux durante algunas horas por día, lo que siempre sucede donde no existe cobertura de hielo. Entretanto, ya que la profundidad de la laguna no puede ser ilimitada bajo pena de haber formación de una zona séptica en el fondo, donde la iluminación es escasa y hay acumulación de lodo, la superficie de la laguna es la principal dimensión que debe tomarse en consideración para el cálculo de la carga admisible.

Otras características que deben tomarse en cuenta, en la construcción de lagunas de estabilización, son las que se refieren a su forma, que debe ser la más regular posible, a fin de evitar la acumulación de espumas, con márgenes inclinados

formando taludes empinados para impedir el desarrollo de vegetación enraizada (aunque más sujetas a la erosión); a los dispositivos de entrada del desague en la laguna, debiendo ésta ser múltiple para facilitar la homogenización, y distante del margen, para facilitar la diseminación por los vientos del material flotante; a la salida que es muy importante que pueda ser operada en varias profundidades permitiendo, en caso necesario, evitar los residuos de algas de la superficie en el receptor, etc. (63).

9. Eficiencia.

Los dos criterios más usados para medir la eficiencia de un sistema de tratamiento de desagües -una medida de reducción de DBO y de los sólidos en suspensión- pierden su valor en la evaluación del tratamiento en lagunas de estabilización, y esto porque las algas que en ellas se sintetizan, son sólidos en suspensión y están constituidas por materia orgánica. Ya que la materia orgánica es sintetizada allí, sin ser obtenida por transformación del material introducido, puede presentarse el caso, frecuente, de que la cantidad de materia orgánica que constituye las algas sea mucho mayor que la cantidad originalmente introducida por el desague. El subsecuente lanzamiento de este efluente a un cuerpo de agua receptor, seguido de la muerte de las algas, las cuales se descompondrán por actividad bacteriana, puede originar demanda bioquímica de oxígeno en este receptor, lo que puede considerarse como inconveniente del sistema. Las algas lanzadas al cuerpo de agua sin embargo, no mueren inmediatamente: se diluyen en el volumen de agua, donde continúan produciendo oxígeno por un período de varias horas o días y solamente mueren en el caso de encontrar condiciones muy adversas. Pueden, además, constituir alimento riquísimo para los microcrustáceos y peces, cuando se lanzan en receptores adecuados, o pueden ser removidas del efluente por acción del cloro a 10 mg/l seguida de sedimentación (73). De cualquier forma, en el análisis del efluente para la determinación de la eficiencia, no se deben incluir los microorganismos en el total de la materia orgánica en descomposición, y la propia técnica de determinación de la DBO debe modificarse en el sentido de evitarse la interferencia de sus actividades orgánicas. La muestra para DBO con teniendo algas, al ser mantenida en ambiente iluminado, tenderá a presentar una tasa creciente de oxígeno disuelto, gracias a su producción por fotosíntesis; si esta misma muestra se mantiene en un lugar oscuro presentará una falsa demanda producida por la respiración de los microorganismos o por su descomposición, después de su muerte. Por otro lado, la filtración de la muestra, que algunas veces se realiza con el propósito de evitar este inconveniente, presenta la desventaja de remover, también, otras partículas en suspensión que serían causantes de verdadera demanda.

La reducción de la DBO que se observa en las lagunas de estabilización es tan grande o mayor que en otros sistemas de tratamiento, así como también el poder eliminar bacterias fecales y patógenas. Algunos autores sugieren que la destruc-

ción rápida que se realiza de coliformes, en presencia de las algas, se deba a la producción, por estas últimas, de compuestos semejantes a la clorelina, que es una sustancia con propiedades antibióticas, parecida a la penicilina, y que, sin embargo, tiene acción más o menos específica, que no perjudica a la actividad bacteriana normal del desague. La formación de áreas sépticas, en las lagunas, debido generalmente a fallas del proyecto o del funcionamiento, puede dar origen a mal olor. Las áreas sépticas pueden distinguirse fácilmente por la ausencia de olas por acción del viento. Su formación puede evitarse promoviendo la rápida mezcla del efluente con el desague que ya se encuentra parcialmente estabilizado en la laguna, ya sea a través de entradas múltiples o mediante cambios frecuentes del punto de entrada. Es posible usar el nitrato de sodio, como fuente de oxígeno en el medio anaerobio, satisfaciendo hasta 20% de la DBO e impidiendo la formación de H_2S (74).

Se debe evitar siempre la presencia de plantas emergentes con raíces en el fondo de la laguna. La vegetación tipo totora y otras generalmente no aparecen cuando la laguna tiene más de 70 cm de profundidad. Es necesario también remover toda la vegetación con raíces existentes antes del lanzamiento del desague, así como mantener las orillas completamente limpias de cualquier tipo de hierbas a fin de impedir el desarrollo de mosquitos y caracoles planorbídeos en el desague en estabilización.

Se han realizado algunos experimentos procurando evidenciar la capacidad de retención de isótopos radioactivos presentada por estas lagunas. Estos trabajos han demostrado que sustancias como el fósforo radioactivo pueden ser absorbidas por las algas precipitándose, cuando éstas mueren, siempre que haya suficiente tiempo de retención, dependiendo, pues, de las características dadas al proyecto. Elementos como el yodo y el cesio radioactivo, a pesar de no ser absorbidos por las algas, pueden también ser eliminados por un conjunto de reacciones químicas y bioquímicas, tales como cambios de iones y precipitaciones que normalmente se realizan en las lagunas y que constituyen un importante proceso de remoción secundaria de isótopos, siempre que haya un tiempo largo de retención (75).

6.3.2.7.2. Sistema Australiano.

En Australia, como también en otros países, inclusive el Brasil (76) (77) (78) (65), se ha utilizado un sistema en que el desague, en lugar de recibir un tratamiento primario clásico, es lanzado directamente en una laguna de volumen reducido, donde permanece por un tiempo de retención relativamente corto (cerca de 5 días) dando origen, así, a condiciones anaerobias, antes de ser lanzado en la laguna aerobia. El objetivo inicial de este proceso era tan sólo el de remover por sedimentación el material en suspensión. Sin embargo, se comprobó que además de esto, hay una gran reducción de DBO gracias a la fermentación anaerobia que allí se realiza. Se demostró tam-

bién el papel importante, que en ese tratamiento, desempeña - el propio lodo sedimentado, comprobándose que en las lagunas anaerobias que ya contenían cierta cantidad de lodo el grado de tratamiento alcanzado era mucho más elevado que en las lagunas en que el lodo era removido (79).

El tratamiento que se realiza en la laguna anaerobia no depende de la irradiación solar, no habiendo necesidad de gran superficie expuesta. Son pues, grandes digestores abiertos. Por esta razón, tales lagunas pueden ser más profundas que las aerobias, siendo las profundidades de 1.5 a 2 m las ideales para la producción de metano (81). En el proceso de purificación se forman anhídrido carbónico y metano que se desprenden en forma de burbujas, causando cierta agitación y manteniendo partículas en suspensión. Por este motivo, así como por no contener su efluente una cantidad satisfactoria de oxígeno disuelto, el sistema no puede prescindir de la fase siguiente, en la laguna aerobia, con características semejantes a las del sistema americano. La relación ideal entre el área anaerobia y la aerobia es de 1 a 5 (48). Sin embargo, los diseños de lagunas anaerobias no deben basarse en área, sino más bien en el tiempo de retención, por el mismo hecho de que son simples digestores. La aparición de condiciones sépticas, debido a la descomposición anaerobia ácida no se presenta, generalmente, en lagunas de dimensiones correctas. En lagunas de tipo "facultativo" en que hay una capa superior aerobia y otra en el fondo, anaerobia, estas condiciones se ven impedidas, entre otras cosas, por la elevación del pH producida por la propia fotosíntesis (81). Según Parker (81) en las lagunas estrictamente anaerobias, aún cuando el desague es muy rico en sulfatos, su reducción a sulfuros no se cumple cuando existe un contenido bien establecido de lodo dotado de activa capacidad fermentadora, y cuando la carga es adecuada. En estas condiciones el pH permanece entre 7.2 y 7.5 no habiendo acumulación de ácidos. La presencia de espumas en la superficie de lagunas anaerobias es altamente benéfica, por impedir la penetración del oxígeno del aire, el cual sería nocivo a la actividad de las bacterias anaerobias.

6.3.3. Biología del Tratamiento Anaerobio.

En el tratamiento anaerobio se procura obtener, en instalaciones especiales, la misma secuencia de fenómenos que se comprueba en los depósitos de lodo orgánico formados en los cursos de agua altamente contaminados. El proceso es parecido, bajo muchos aspectos, con la digestión de alimentos en los organismos animales, (inclusive en el hombre) que, como ya se vio, no es nada más que un proceso de disminución progresiva de la materia orgánica a fin de hacerla soluble permitiendo, así, su paso a través de las paredes del aparato digestivo y su incorporación a la sangre y a las células. Las reacciones que se realizan en el interior de estos órganos son, también, en parte anaerobias y muchas de las bacterias que en ella toman parte, capaces de respiración intramolecular, tienen también papel importante en algunas de las fases del proceso anaerobio de purificación. La solubilización de compuestos orgánicos por actividad enzimática recibe la denominación de digestión.

Se puede reconocer, durante el proceso, dos fases distintas: a) una primera en la que se presenta la licuefacción del material, tal como en la digestión de los animales, o sea, la transformación, por hidrólisis, de los cuerpos en suspensión de tamaños relativamente grandes, sedimentables, en sustancias solubles o, por lo menos, en una situación intermedia, finalmente dividida. Esa etapa se realiza gracias a la acción de enzimas exógenas, esto es, enzimas que una vez producidas por las bacterias quedan en libertad en el medio, donde pasan a ejercer su actividad catalizadora sobre las partículas orgánicas a fin de que éstas, solubilizadas, puedan ser posteriormente asimiladas por las células bacterianas. La celulosa y el almidón se transforman en formas solubles de azúcares; las proteínas se dividen en aminoácidos, mientras que las grasas permanecen, sin ser atacadas por las exoenzimas (55). No hay pues, una degradación química completa de las sustancias orgánicas y los productos que de ellas resultan son, en general, tanto o más inconvenientes que el propio material fresco del desague (23). Como consecuencia de la metabolización por las bacterias de esta materia, después de disuelta y absorbida, se presenta formación de gran cantidad de ácidos, causando de la disminución del pH en el medio; b) la segunda fase consiste en la gasificación del material soluble, consumido por las células, a través de una acción enzimática endógena, o sea en el interior de las propias bacterias. Los principales gases resultantes son, además del anhídrido carbónico, el metano y el gas sulfhídrico.

Análogamente a lo que sucede en el interior de un aparato digestivo animal, se observan, en el proceso de digestión del desague, fases caracterizadas por diferentes grados de pH propicios para diferentes tipos de enzimas: así, mientras los primeros pasos de la licuefacción se presentan en ambiente ácido (pH situado en torno de 5), las reacciones de la fase de gasificación exigen pH más elevado (de preferencia 6.4 a 7.2).

Según McKinney (55), la alta concentración de ácido, en la fase anterior, produce, como consecuencia, un retardamiento de la actividad metabólica de las bacterias, ya sea por el propio pH bajo o por la acumulación de un producto final en el sistema biológico, tendiendo éste a alcanzar un equilibrio; la segunda fase se inicia con la aparición de un segundo grupo de bacterias capaces de metabolizar los ácidos orgánicos formados, transformándolos en anhídrido carbónico y metano. Como resultado de la disminución progresiva de los aminoácidos hay formación de amoníaco el cual, a su vez, neutraliza parte de los ácidos remanentes, contribuyendo al establecimiento de un pH propicio para el crecimiento bacteriano de la fase metabólica.

Como ya se dijo, se trata aquí, una vez más, de un ciclo de vida, en que las bacterias capaces de vida anaerobia procuran obtener energía para la realización de sus funciones y material para su autoproducción. El proceso que emplean, para la obtención, liberación y utilización de las energías compre-