

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los objetivos de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) eran la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la materia en suspensión (MES) y los organismos patógenos. A partir de los años setenta, y de manera progresiva en diferentes países, se añadió un nuevo objetivo: eliminar *nutrientes*, como el *nitrógeno* y el *fósforo*, con el fin de evitar la eutrofización de ríos y lagos (Metcalf-Eddy, 1991).

Esta nueva conveniencia, que abrió un amplio campo de estudio, nació de la observación sobre los efectos ambientales que los nutrientes causaban sobre los sistemas acuáticos al acumularse en ellos. Se observó, por ejemplo, que estos nutrientes estimulaban el crecimiento de las algas y de otras formas de vida acuática fotosintética, lo cual conducía a una aceleración de la eutrofización, a una excesiva pérdida de las fuentes de oxígeno y a otros cambios no deseados en la calidad de vida acuática.

Los expertos se encontraron con el inconveniente de que estos nuevos contaminantes no se veían afectados por los procesos y operaciones de depuración hasta entonces utilizados, ya que, aunque alguna eliminación de nutrientes ocurría en esas plantas, la eficiencia en general era baja. Rohlich y Uttormark (1972) hallaron rendimientos en la eliminación del nitrógeno y del fósforo del 5 al 15 % en sistemas de tratamiento primario, y cerca del 30 al 50 % en sistemas de fangos activados convencionales.

Por lo tanto, la atención comenzó a enfocarse hacia el desarrollo de nuevos procesos más efectivos para la *eliminación de nutrientes*. En la práctica estos nuevos procesos consistieron, inicialmente, en la adición de un proceso terciario a la planta convencional y, posteriormente, en la aplicación de procesos continuos de eliminación biológica de nitrógeno y fósforo.

Como una alternativa a estos sistemas de tipo continuo se han utilizado sistemas de tratamiento biológico de fangos activados de flujo discontinuo, donde las fases de reacción y decantación se realizan en un solo tanque llamado Reactor Biológico Secuencial (RBS). En un RBS las fases de tratamiento del agua residual se producen a lo largo de un cierto período de tiempo llamado ciclo. Una vez finalizado el ciclo de tratamiento, éste se vuelve a repetir de manera sistemática. Cada ciclo comprende una serie de fases que se suceden en el tiempo, según sean las características del tratamiento.

Las ventajas que proporcionan los RBS son muchas y han hecho que se utilicen con éxito en la eliminación de nutrientes. Las ventajas más destacables son:

- Flexibilidad para adaptarse a variaciones en las características del agua residual afluente, como las fluctuaciones de caudal.

- Flexibilidad para adaptarse a diferentes exigencias de calidad del agua residual efluente, como puede ser la eliminación de nutrientes, además de la eliminación de materia orgánica y materia en suspensión.
- Una mayor eficacia en la decantación gracias a su efecto selector en la fase de llenado, que evita la proliferación de microorganismos filamentosos.

Hablando específicamente del proceso de eliminación biológica incrementada de fósforo (EBIF) este método permite eliminar fósforo del agua residual, especialmente urbana, usando un grupo de organismos acumuladores de polifosfatos (OAF). Estas bacterias toman más fósforo del que es comúnmente necesario para el crecimiento y lo acumulan en el interior de las células. Mediante la purga del fango biológico en exceso, se puede eliminar el fósforo del sistema.

Sin embargo, a semejanza de los procesos continuos con eliminación de nutrientes, los RBS también deben hacer frente a los requerimientos de los procesos de eliminación biológica de nutrientes. Estos requerimientos son principalmente los siguientes: 1) la necesidad de productos orgánicos fácilmente asimilables (en especial, ácidos grasos volátiles) en cantidades suficientes para permitir la eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo, 2) la necesidad de obtener fases realmente anaeróbicas, frente a la presencia de nitratos procedentes normalmente del ciclo anterior.

La primera exigencia debe ser conseguida con el propio afluente de la planta, debido a que la adición externa de sustratos no es generalmente adecuada por los costes económicos que representa. De manera más específica, en un proceso con eliminación de nutrientes, los organismos desnitrificantes necesitan demanda química de oxígeno (DQO) fácilmente biodegradable como fuente de carbono mientras que los ácidos grasos volátiles (AGV) son requeridos por los OAF como un factor determinante de la liberación anaeróbica de fósforo. Según Abu-ghararah y Randall (1991), se requieren 20 mg AGV para eliminar 1 mg de P. Estas cantidades no se encuentran comúnmente disponibles en las aguas residuales urbanas, particularmente cuando la concentración de DQO es baja.

Algunos parámetros –o relaciones- del agua residual urbana (ARU), han sido usados para caracterizar el potencial de un ARU para la eliminación de nutrientes, en especial del fósforo; entre ellos encontramos la DQO fácilmente biodegradable, el DQO/P, el DQO/NKT, la concentración de AGV y el potencial de generación de AGV.

Más allá del contenido de AGV del afluente, la materia fermentable del mismo puede ser convertida a AGV en los estados anaeróbicos de un proceso de tratamiento, es decir, dentro del mismo reactor biológico. Sin embargo, de acuerdo con el modelo de fangos activados No. 2 (Henze *et al.*, 1991), la hidrólisis anaeróbica de los sólidos primarios puede producir materia fermentable que, a su vez, puede ser convertida en AGV (Ekama y Wentzel, 1999). Por lo tanto una fracción substancial de la DQO particulada retenida en los decantadores primarios puede ser utilizada para generar materia fermentable. De ahí que en diversos estudios, y también en la práctica diaria, se haya utilizado la fermentación de los sólidos primarios como una herramienta para aumentar la cantidad de DQO fácilmente biodegradable y, en particular, AGV disponibles para la eliminación biológica de nutrientes.

La fermentación del lodo primario puede realizarse tanto en decantadores primarios como en prefermentadores separados. Los decantadores primarios pueden funcionar como prefermentadores si se incrementa el tiempo de retención de sólidos (TRS) y se

recicla el fango decantado hacia el afluente del decantador, con el fin de elutriar los productos solubles de la fermentación del fango. Estos prefermentadores se conocen como tanques primarios activados (TPA). Los prefermentadores separados se pueden clasificar en mezclados, estáticos y de dos etapas (Münch y Koch, 1999). El tanque primario activado es una de las maneras más simples de producir AGV (Randall *et al.*, 1992), porque no requiere tanques adicionales cuando se aplica en plantas continuas con eliminación de nutrientes.

La segunda exigencia para la eliminación conjunta de nitrógeno y fósforo en un RBS, consistente en asegurar fases estrictamente anaeróbicas dentro del proceso, puede ser justificada basándose en el hecho de que el nitrato puede inhibir la acumulación de polihidroxialcanoatos (PHA), en condiciones anóxicas. Esta exigencia ha sido uno de los grandes obstáculos a superar por la tecnología de los RBS. Esto es debido a que todas las fases de reacción de un RBS se suceden dentro de un mismo tanque.

Con el fin de cumplir éste y otros requerimientos, se han desarrollado diferentes estrategias en el diseño de los ciclos de tratamiento. Alternando fases aireadas con fases no aireadas durante el llenado (Hamamoto *et al.*, 1997) se obtienen efluentes con bajas concentraciones de nitratos (Irvine *et al.*, 1983). Asimismo, llenados rápidos o estáticos han sido también propuestos como un medio para incrementar la disponibilidad de carbono en las fases anaeróbicas y formar así los polihidroxialcanoatos (PHA) (Manning y Irvine, 1985; Arora *et al.*, 1985; Ketchum, 1997). Por otro lado, una fase anóxica después de la principal fase de reacción puede ser también aplicada con el fin de reducir la concentración de nitratos en el efluente. Esta fase postanóxica se basa en la desnitrificación endógena.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, así como los medios disponibles y el trabajo previo realizado por Escaler (1997) en el laboratorio de Ingeniería Ambiental del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña, se ha desarrollado la presente tesis doctoral, centrada básicamente en dos aspectos: la caracterización y estimulación de las fuentes de carbono presentes en el agua residual urbana, y la optimización de la eliminación biológica de nutrientes en el tratamiento de un agua residual urbana en un reactor biológico secuencial. Los objetivos de este estudio se detallan en el Capítulo 2 de este documento.

