

RESUMEN

Los procesos convencionales de depuración del agua residual presentan un elevado consumo energético y no permiten una recuperación de los recursos presentes en el agua. En el camino hacia la transformación de las Estaciones Depuradoras de Agua Residual (EDAR) en estaciones de recuperación de recursos, los procesos de redirección de carbono juegan un papel crucial. Estas tecnologías incrementan la cantidad de materia orgánica que se puede valorizar energéticamente mediante la digestión anaerobia. Una de esas tecnologías es la filtración directa del agua residual, la cual envía toda la materia orgánica suspendida y parte de la soluble a la digestión anaerobia. Tras la filtración, la línea principal de aguas presenta una composición diferente a la tradicional, principalmente en lo que respecta a un bajo ratio de materia orgánica por unidad de nitrógeno (DQO/N) y a la ausencia de sólidos suspendidos.

Esta tesis doctoral tiene como objetivo estudiar experimentalmente, y con la ayuda de modelos matemáticos, diferentes alternativas de tratamiento del permeado de una planta piloto de Ultrafiltración de agua residual urbana real para lograr un efluente que cumpla con los requisitos de vertido. Además, los esquemas propuestos permiten, en mayor o menor medida, aprovechar las infraestructuras existentes de las EDARs, por lo que suponen una mejora a las instalaciones existentes. Las diferentes propuestas están enfocadas en la reducción del consumo energético y la recuperación del nitrógeno bajo la forma de fertilizante.

En la primera alternativa se mantuvo el proceso convencional de nitrificación-desnitrificación tras la membrana de filtración para comprobar si era posible incrementar la carga orgánica dirigida hacia la digestión anaerobia sin modificar la línea principal de aguas. Los resultados experimentales indican que el proceso de filtración retiene una elevada concentración de materia orgánica y reduce la ratio DQO/N por debajo de las condiciones estequiométricas necesarias, provocando que no todo el nitrógeno pueda ser eliminado con el proceso clásico de nitrificación-desnitrificación. Por lo que para poder mantener este tipo de tratamiento se necesitaría baipasear una parte del agua de entrada al proceso de filtración, para ajustar la ratio DQO/N al valor necesario, o en su defecto, aplicar esta alternativa en aquellos influentes con una alta concentración de materia

orgánica soluble, ya que una parte de esta fracción no será retenida y llegaría al permeado, propiciando una ratio DQO/N más elevada.

En segundo lugar, se ha propuesto un proceso de nitrificación parcial (NP) seguido del proceso Anammox. Ambas etapas biológicas no requieren de materia orgánica para la eliminación del nitrógeno y su consumo energético es menor, al reducir las necesidades de aireación. Experimentalmente se estudió el proceso de NP en la línea principal de aguas. Regulando la duración de la fase aerobia mediante un controlador basado en el pH y el oxígeno, mantenido una concentración de oxígeno baja ($0.5 \text{ mg O}_2/\text{L}$) y moderados tiempos de retención celular (de 3 a 10 días), se consiguió acumular N-NO_2 en el reactor. Se observó que es importante disponer de una configuración del reactor que asegure una alta retención de la biomasa. El modelo matemático confirmó la importancia de mantener una baja consigna de oxígeno y limitar la duración de la fase de aireación.

Por último, se estudió un escenario dónde se pudiera no solo eliminar sino recuperar el nitrógeno. Para ello, el amonio del permeado se concentra en columnas de intercambio catiónico y después se recupera en la forma de sulfato amónico en un contactor de membranas. Inicialmente se seleccionó el material adsorbente a partir de los resultados de los ensayos de cinéticas de adsorción. La zeolita natural, el material escogido en base a su mejor capacidad de adsorción de amonio del permeado de UF, se caracterizó y se analizó la influencia de los interferentes mediante las ecuaciones de las isothermas de adsorción. También se analizó qué regenerante ofrecía mejores resultados. Por último, se realizaron varios ensayos en columnas de adsorción para estudiar la influencia del caudal de trabajo y la concentración de amonio en el afluente sobre la capacidad de adsorción de amonio y el volumen de permeado tratado antes de alcanzar el punto de ruptura. Así mismo se ha estudiado el efecto del caudal de regeneración y la concentración del agente regenerante sobre la capacidad de regeneración y la concentración de la corriente rica en nitrógeno. Se observó cómo con la medida de la conductividad es posible determinar la duración de ambas fases. Mediante los datos experimentales, los resultados de los modelos matemáticos y un balance económico, se determinó que para una concentración de $27 \text{ mg N-NH}_4/\text{L}$ en el alimento, el mejor caudal de trabajo era de 8 BV/h y para regenerar se recomienda emplear una solución de $\text{NaOH } 0.1\text{M}$ a 8 BV/h de caudal.

Finalmente, se realizó un análisis económico y ambiental de las tres alternativas propuestas para identificar la solución que presenta más ventajas en su aplicación según el escenario que se considere, mejora de una EDAR existente o construcción de una nueva

instalación. En ambos escenarios el proceso de UF resultó ser el principal cuello de botella para facilitar la implantación de alguna de las alternativas, debido a sus elevados costes de implantación y la demanda energética para su agitación. Realizando una proyección futura sobre cómo estará esta tecnología en un corto plazo (considerando el elevado interés científico-técnico que suscita esta tecnología), se estimaron unas mejoras en su coste de adquisición, costes de operación y rendimiento. En esta proyección futura la alternativa 1, nitrificación-desnitrificación, no consigue alcanzar unos rendimientos económicos apropiados. Por el contrario, la alternativa 2, nitrificación parcial + Anammox, muestra un balance económico mejor al de la situación actual, tanto para la mejora de una EDAR existente como para su nueva construcción. La alternativa 3, intercambio catiónico + contactores de membrana, al no permitir aprovechar las infraestructuras existentes de la EDAR, solo es factible en un escenario de nueva construcción, aunque su elevado OPEX por el reemplazo de las zeolitas debe ser tenido en cuenta. Ambientalmente la alternativa 3 es la que ofrece mayores mejoras, tanto en la reducción de requisitos de superficie como en cuanto a efecto sobre el cambio climático, ya que debido a las emisiones que se evitan en la producción de fertilizantes nitrogenados y la ausencia de emisiones de N_2O esta alternativa tiene un balance de emisiones de CO_{2eq} negativo. La alternativa 2 también logra reducir sus emisiones de CO_{2eq} ya que los procesos biológicos implicados presentan un menor factor de emisión de N_2O que el proceso convencional.