

DESARROLLO DE UNA NUEVA TECNOLOGIA MEDIOAMBIENTAL DE DESNITRIFICACIÓN BASADA EN LA OXIDACIÓN ANAEROBIA AUTOTRÓFICA

E. Campos¹, D. Zarzo¹, M. Calzada¹, P. Terrero¹, F. Osorio²

¹Valoriza Agua. Molina de Segura, 8. 30007. Murcia.

²Grupo de Investigación Microbiología y Técnicas Ambientales (MITA). Dpto. Ingeniería Civil. Universidad de Granada.

macalzada@sacyr.com

Resumen

La eliminación de nitrógeno se ha realizado tradicionalmente mediante la utilización de los sistemas convencionales de nitrificación-desnitrificación. Sin embargo, la eliminación autotrófica de nitrógeno, basada en una nitrificación parcial de amonio a nitrito junto con una oxidación anaeróbica del amonio, se presenta como una novedosa alternativa para la eliminación de nitrógeno en aguas residuales.

El proyecto DENITOX nace con el objetivo de desarrollar una nueva tecnología medioambiental para la eliminación de nitrógeno en aguas residuales basada en el proceso de oxidación anaerobia autotrófica del amonio utilizando un sistema de biopelícula. El proceso será aplicable al tratamiento de efluentes con alto contenido en nitrógeno y bajo contenido en materia orgánica de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR).

Abstract

Nitrogen removal has been traditionally performed by conventional nitrification-denitrification systems. However, autotrophic nitrogen removal, based on a partial nitrification of ammonia to nitrite, together with an anaerobic ammonium oxidation, is presented as a novel alternative for the removal of nitrogen in wastewater.

The DENITOX project born with the aim of developing a new environmental technology for nitrogen removal in wastewater based on the autotrophic anaerobic ammonium oxidation process using a biofilm system. The process will be applicable to the treatment of effluents with high nitrogen content and low organic matter content in a Wastewater Treatment Plant (WWTP).

Palabras clave

Agua residual, Anammox, nitrógeno

Introducción

El nitrógeno se ha convertido en los últimos años en uno de los contaminantes más importantes en las aguas residuales urbanas debido a la creciente actividad industrial y agrícola sufrida en los últimos tiempos. El vertido de aguas residuales con alto contenido en nitrógeno a los cursos superficiales de agua puede ocasionar efectos negativos sobre ellas, como la reducción de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas receptoras, toxicidad para los microorganismos presentes en el medio acuático, riesgos sobre la salud pública y promover el proceso de eutrofización de las masas de agua, por lo que la legislación en cuanto a su vertido está siendo cada vez más restrictiva.

La tecnología más extendida para la eliminación de nitrógeno en aguas residuales se basa en la combinación de dos procesos biológicos como son la nitrificación y la desnitrificación. El primero de ellos es realizado por un conjunto de bacterias autótrofas oxidadoras de amonio y de nitrito, mientras que el segundo es realizado por un amplio conjunto de bacterias que tienen como característica común la posibilidad de emplear nitrato o nitrito como aceptores de electrones en una cadena respiratoria, principalmente en ausencia de oxígeno. Estas características que describen ambos procesos nos obliga a realizarlos por separado, precisando un sistema aireado para

llevar a cabo la nitrificación y otro anóxico para la desnitrificación (Khin & Annachhatre, 2004). Sin embargo, y pese a que el proceso de nitrificación-desnitrificación ha demostrado tener una viabilidad técnica suficiente, presenta un gran inconveniente: el alto consumo de oxígeno necesario para realizar el proceso de nitrificación propiamente dicho y que incrementa los costes de explotación del sistema, y además requiere la presencia de suficiente cantidad de materia orgánica, co-sustrato del proceso de desnitrificación heterótrofo, y que a veces supone una limitación técnica.

La evolución de la técnica de depuración, el objetivo de reducir el consumo energético y los costes del proceso de depuración, y la necesidad de eliminar nitrógeno de las aguas residuales, han favorecido el desarrollo de novedosos procesos de eliminación de nitrógeno, como son los sistemas autotróficos de eliminación de nitrógeno, los cuales presentan importantes ventajas con respecto a los sistemas convencionales.

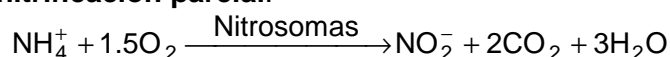
Un aspecto muy importante a tener en cuenta en los procedimientos de eliminación de nitrógeno en las EDAR son los retornos de la línea de fangos (procedentes básicamente del espesamiento, la deshidratación y el secado de fangos, en su caso), especialmente en plantas que disponen de digestión anaerobia, ya que suponen una elevada carga adicional de nitrógeno y fósforo que condiciona el diseño e incrementa los consumos energéticos. El proceso de digestión anaerobia produce un incremento del contenido de amonio y de fósforo soluble, debido a que se hidroliza gran parte del nitrógeno orgánico contenido en el fango, y se solubiliza el fósforo asimilado biológicamente. Las formas solubles de nitrógeno (amonio NH_4^+) y fósforo (ortofosfatos PO_4^{3-}) no son retenidos en el proceso de centrifugación, pasando en muy alta concentración a la corriente de retornos que se envía a cabecera de planta. En el caso de existir secado térmico se produce además la volatilización del amonio, que posteriormente es recuperado en el condensado. Además, la inclusión de procesos avanzados de hidrólisis para la mejora del rendimiento de la digestión anaerobia, producirá un incremento proporcional de la hidrólisis del nitrógeno orgánico, aumentando la carga de amonio en el retorno. La sobrecarga de N correspondiente a los retornos se cuantifica entre un 10-20% sobre la carga de entrada a planta.

Todos estos retornos contienen muy baja concentración de materia orgánica fácilmente biodegradable, debido a que procede de un proceso de digestión anaerobia, por lo que el proceso convencional de nitrificación-desnitrificación se complica, pudiendo precisar aporte de materia orgánica adicional (metanol, acetato...). Sin embargo, estas características del retorno de fangos, de elevada carga de nitrógeno y baja presencia de materia orgánica, son las condiciones idóneas que se precisan en los modernos sistemas de eliminación autotrófica de nitrógeno.

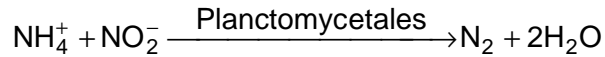
Eliminación autotrófica de nitrógeno

La eliminación autotrófica de nitrógeno es una novedosa alternativa de tratamiento de aguas residuales. Esta nueva tecnología de eliminación de nitrógeno consiste en una nitrificación parcial, donde se transforma el 50% del amonio en nitrito, y posteriormente una desnitrificación autotrófica donde las bacterias Anammox (en inglés, ANaerobic AMMonium OXidation) toman el amonio restante y el nitrito producido y lo transforman directamente en nitrógeno molecular bajo condiciones anaeróbicas y sin requerimientos de materia orgánica.

- Etapa de **nitrificación parcial**:



- Etapa de **desnitrificación autotrófica**:



Los sistemas autotróficos de eliminación de nitrógeno proporcionan importantes ventajas con respecto a los sistemas convencionales. Entre ellas cabe destacar el incremento de eliminación de nitrógeno a un menor coste, debido entre otras cosas al menor requerimiento de aireación puesto que sólo se necesita de una nitrificación parcial del 50% del nitrógeno a eliminar. Además, no se requiere de dosificación de materia orgánica ni de recirculación interna debido a que no se precisa de materia orgánica durante el proceso de desnitrificación. Todo esto supone un ahorro energético que se puede estimar en 2,8 kWh/kg N y en un ahorro en la adición de materia orgánica (3 kg metanol/kg N), tal y como se indica en la Tabla 1:

Tabla 1. Comparación del tratamiento tradicional y nitrificación parcial-Anammox (Campos et al., 2013)

	Tratamiento convencional	Nitrificación parcial/ Anammox
Energía (kWh / kg N)	2,8	1
Metanol (kg / kg N)	3	0
Producción de lodo (kg SSV / kg N)	0,5-1,0	0,1
Emisiones CO₂ (kg / kg N)	>4,7	0,7
Costes totales¹ (Euros / kg N)	3-5	1-2

¹Incluye costes de operación y capital.

Dentro de los sistemas autotróficos de eliminación de nitrógeno existen una gran variedad de tecnologías, entre las que podemos destacar: SHARON/ANAMMOX, DEMON, CANON y ANITA™Mox. Las diferencias entre estas tecnologías autotróficas se basan principalmente en la forma de operación (continuo o discontinuo secuencial) y la presentación del lodo, trabajando con lodo floculento con acumulación de biomasa (DEMON) y otros con lodo granular (CANON, PAQUES) o en forma de biopelícula (ANITA™MOX).

Aunque la eliminación autotrófica de nitrógeno se puede realizar en una o en dos etapas, presentando cada una de ellas distintas ventajas, la configuración de una única etapa es la que se aplica con más fuerza. De hecho, de las 30 plantas existentes, tan solo cuatro de ellas cuentan con el proceso en dos etapas (van der Star et al., 2007; Desloover et al., 2011; Tokutomi et al., 2011).

Además de la configuración del proceso, en una o dos etapas, la elección del tipo de reactor es un factor muy importante a la hora de realizar el diseño. En primer lugar, el tipo de reactor determina la forma en la que la biomasa es retenida en el sistema. El tiempo de crecimiento de las bacterias Anammox es en el orden de 1-2 semanas, por lo que el tiempo de retención de sólidos debe exceder de este valor. Esto se puede lograr fácilmente con los procesos de biopelícula.

Tradicionalmente, los procesos de biopelícula utilizados para realizar la eliminación de nitrógeno se han diseñado para realizar el proceso convencional de nitrificación-desnitrificación, en todas sus configuraciones. Sin embargo, las ventajas que presenta la formación de la biopelícula sobre la superficie de un material soporte, como el crecimiento y mantenimiento de microorganismos de crecimiento lento (como son los microorganismos que oxidan anaeróbicamente el amonio), hacen de los procesos de biopelícula una opción interesante a la hora de realizar el proceso de eliminación autotrófica de nitrógeno.

Objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto DENITOX es desarrollar una nueva tecnología medioambiental para la eliminación de nitrógeno basada en el proceso de oxidación anaerobia autotrófica del amonio, utilizando un sistema de biopelícula. El proceso será aplicable al tratamiento de efluentes con alto contenido en nitrógeno y bajo contenido en materia orgánica de una EDAR, como los retornos procedentes de la deshidratación de fangos y los obtenidos después de la digestión anaerobia junto a los sobrenadantes de espesamiento.

Conclusiones

El proyecto DENITOX representa todo un reto en el campo de la depuración de aguas residuales. De alcanzarse los objetivos esperados en el desarrollo del proyecto, una vez finalizado se habrá conseguido desarrollar una nueva tecnología de eliminación de nitrógeno, caracterizada por presentar una menor producción de fangos y una reducción del consumo energético en el proceso de eliminación de nitrógeno, con respecto al proceso convencional.

Financiación y colaboraciones externas

El proyecto DENITOX está financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y cofinanciado por el Mecanismo Financiero del Espacio Económico Europeo (EEA Grants) dentro del Programa de Ciencia y Tecnología en Medio Ambiente y Cambio Climático. Para la ejecución del proyecto ValORIZA Agua cuenta, además, con la colaboración del Grupo de Investigación MITA, “de Microbiología y Técnicas Ambientales”, de la Universidad de Granada, que cuenta con vasta experiencia en el desarrollo de sistemas para la eliminación de nutrientes en aguas residuales, y del Centro de Investigación Noruego Vestforsk, especializado en ecología industrial.

Agradecimientos

Los autores, agradecen al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI Ministerio de Economía y Competitividad), y al Mecanismo Financiero del Espacio Económico Europeo (EEA Grants), Programa de Ciencia y Tecnología en Medio Ambiente y Cambio Climático el apoyo económico para la realización de este proyecto (IDI 20140117).

Bibliografía

1. Campos J. L., Vázquez-Padín J.R., Fernández I., Fajardo C., Seca I., Mosquera-Corral A. & Méndez R. (2013). Procesos avanzados de eliminación de nitrógeno: Nitrificación parcial, Anammox, desnitrificación autótrofa. pp. 127-156. *Tecnologías avanzadas para el tratamiento de aguas residuales (2ª Edición)*. A. Mosquera-Corral (Editora). Lápicos 4. ISBN: 13-978-84-692-5028-0.
2. Desloover, J., De Clippeleir, H., Boeckx, P., Du Laing, G., Colsen, J., Verstraete, W., & Vlaeminck, S.E. (2011) Floc-based sequential partial nitritation and anammox at full scale with contrasting N₂O emissions. *Water Res* 45: 2811–2821.
3. Khin, T., & Annachhatre, A.P., (2004). Novel microbial nitrogen removal processes. *Biotechnology Advances* 22, 519–532
4. Tokutomi T., Yamauchi H., Nishimura S., Yoda M. & Abma W (2011). Application of the nitritation and Anammox process into inorganic nitrogenous wastewater from semiconductor factory. *J Environ Eng.* 137: 146–154.
5. Van der Star, W. R. L., Abma, W. R., Blommers, D., Mulder, J.-W., Tokutomi, T., Strous, M., Picioreanu, C., et al. (2007). Startup of reactors for anoxic ammonium oxidation: experiences from the first full-scale anammox reactor in Rotterdam. *Water research*, 41(18), 4149–63.