

Efectos de cambios operacionales en la calidad del efluente de un reactor de nitrificación parcial tratando altas cargas de nitrógeno

J.Gabarró, M. Rusalleda, M.D. Balaguer, J. Colprim*

LEQUIA, Instituto de medio ambiente, Universidad de Girona, Campus Montilivi, E-17071 Girona, Cataluña, España.

*E-mail: J.Colprim@lequia.udg.cat

Resumen

El proceso Panammox® es un proceso de nitrificación parcial (PN)-anammox en dos etapas, ambas en configuración SBR, para el tratamiento de afluentes con alta carga amoniacal y matriz compleja y variable. El proceso ha sido aplicado con éxito al tratamiento de lixiviados de vertedero con altas concentraciones de nitrógeno amoniacal ($2-6 \text{ g N-NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$) a 35°C . En este estudio se discuten de manera conjunta cambios en la temperatura operacional ($25-35^\circ\text{C}$) y en el ciclo del PN-SBR incluyendo fases anóxicas durante las alimentaciones. El PN-SBR fue operado de manera estable y se obtuvo un efluente adecuado para el posterior reactor anammox en todos los experimentos. La reducción a 25°C de la temperatura de operación del PN-SBR no afectó el rendimiento global del proceso tratando lixiviado de vertedero ($6 \text{ gN-NH}_4^+ \cdot \text{L}^{-1}$). La configuración del ciclo se cambió para realizar las alimentaciones en fase anóxica. Con esto, se obtuvo la eliminación del 10% del nitrógeno del afluente ($2 \text{ gN}_{\text{inf}} \cdot \text{L}^{-1}$). El estudio de los mecanismos y tasa de producción de N_2O indicó que las fases anóxicas eran responsables del 60% de la producción total de N_2O (3.6% del nitrógeno del afluente). En este sentido, las condiciones altamente astringentes en el PN-SBR impiden desnitrificar completamente a N_2 gas, de modo que las fases anóxicas deberían ser evitadas.

Abstract

The Panammox® process has been applied successfully to treat landfill leachate containing high ammonium concentration ($2-6 \text{ g N-NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$) at 35°C . Panammox® consists in a two-step treatment for autotrophic nitrogen removal: partial nitrification (PN)-anammox. In this study, changes on the operational temperature ($25-35^\circ\text{C}$) and the inclusion of anoxic feedings are together discussed. The PN-SBR performed stably and produced a suitable effluent for the subsequent anammox reactor despite operating changes in all the experiments. The operating temperature decrease to 25°C did not affect the overall performance treating landfill leachate $6 \text{ gN-NH}_4^+ \cdot \text{L}^{-1}$). Operating temperature decrease to 25°C for the entire Panammox® process is nowadays limited by the anammox reactor treating high nitrogen loads. When anoxic feedings were included at 35°C , 10% of the influent nitrogen ($2 \text{ gN}_{\text{inf}} \cdot \text{L}^{-1}$) was removed. Anoxic feedings caused the production of the 60% of the total N_2O production (3.6% of the influent total nitrogen concentration). In this sense, anoxic feedings should be avoided in the PN-SBR.

1. Introducción

El proceso Panammox® es una tecnología para eliminación autotrófica de nitrógeno en aguas con alta carga que consiste en dos reactores en línea con configuración SBR (reactor discontinuo secuencial) para la nitrificación parcial (PN) y anammox, respectivamente. Esta tecnología ha sido diseñada para tratar aguas con matriz compleja y elevada variabilidad en el contenido en nitrógeno amoniacal y materia orgánica. Se ha aplicado mayoritariamente al tratamiento de lixiviados maduros de

vertedero, que contienen altas concentraciones de nitrógeno amoniacal ($>2 \text{ g N-NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$), de materia orgánica (DQO) recalcitrante y baja concentración de DQO biodegradable (bDQO) (Ganigué et al., 2009; Ruscalleda et al., 2008). El proceso Panamox® se opera habitualmente a alta temperatura ($30\text{-}35^\circ\text{C}$) y el PN-SBR en condiciones completamente aerobias. Las altas concentraciones de NH_4^+ y NO_2^- presentes en el PN-SBR están en equilibrio con sus formas no iónicas NH_3 y HNO_2 , respectivamente, que inhiben por completo a las NOB y parcialmente a las AOB (Gabarró et al., 2012). Para obtener acumulación de NO_2^- se opera a altas temperaturas ($>30^\circ\text{C}$) para favorecer a las bacterias oxidadoras de amonio (AOB) en frente las bacterias oxidadoras de nitrito (NOB).

El PN-SBR se ha operado de manera estable a 35°C y aplicando ciclos completamente aerobios (Ganigué, et al., 2009). Los requerimientos energéticos del PN-SBR pueden ser reducidos mediante cambios de la temperatura operacional y la inclusión de fases anóxicas para favorecer la desnitrificación y reducir la demanda de oxígeno. No obstante, estos cambios pueden afectar a la calidad del efluente del PN-SBR, cuyo objetivo principal es condicionar el lixiviado para alimentar al reactor anammox. En este sentido, se ha estudiado la viabilidad de operación del PN-SBR alternando condiciones anóxicas y aerobias para promover la desnitrificación heterotrófica y, la reducción de la temperatura de trabajo a 25°C analizando la calidad del efluente. Ambos cambios destinados a reducir el consumo energético del proceso de PN. Por otra parte, tanto la oxidación del NH_4^+ a NO_2^- (nitritación) como la desnitrificación en condiciones severas con altas concentraciones de NO_2^- y NH_4^+ y limitación de bDQO, pueden originar altas producciones de N_2O . Este producto o intermediario de distintas vías metabólicas es un gas de efecto invernadero con un potencial 300 veces superior al CO_2 , de modo que en este estudio también se enfatizó en contabilizar la producción de N_2O en el sistema (Gabarró et al., 2014).

2. Materiales y métodos

Los experimentos se llevaron a cabo a un reactor de nitritación parcial (PN-SBR) de 250 L de capacidad máxima tratando lixiviados de vertedero desde el primer día de operación. El lixiviado presentaba concentraciones variables de nitrógeno amoniacal ($2\text{-}6 \text{ g N L}^{-1}$).

Se llevaron a cabo 3 experimentos de duración variable (50-150 días) y condiciones de operación distintas: i) ciclos completamente aerobios a 35°C ii) a 25°C y iii) ciclos combinando fases anóxicas y aerobias a 35°C . En todos los casos se siguió una estrategia de alimentación escalonada descrita por Ganigué et al., (2009).

3. Resultados y discusión

La variación de temperatura afecta la actividad de los fangos así como los equilibrios químicos. La temperatura tiene efectos opuestos sobre el equilibrio $\text{NH}_4^+\text{-NH}_3$ y $\text{NO}_2^-\text{-HNO}_2$. Tanto el NH_3 como el HNO_2 afectan negativamente a la actividad de las AOB y NOB. Dos temperaturas fueron testadas en el PN-SBR (25°C y 35°C) alimentado desde el primer día con lixiviado de vertedero con una concentración media de $6000 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$ (Gabarró, et al., 2012).

Se aplicó un modelo cinético para investigar la influencia del NH_3 y el HNO_2 como inhibidores y la limitación del HCO_3^- como fuente de carbono para las AOB. La Fig.1 sintetiza el porcentaje máximo de reducción de la actividad AOB debido a la inhibición y limitación. La actividad AOB era altamente inhibida debido al HNO_2 a 25°C , mientras

que una combinación del NH_3 y el HNO_2 causaron la inhibición a las AOB a 35°C . La limitación por HCO_3^- (45%) fue similar en los dos experimentos ya que la concentración de HCO_3^- del afluente era también similar durante ambos casos (Gabarró, et al., 2012).

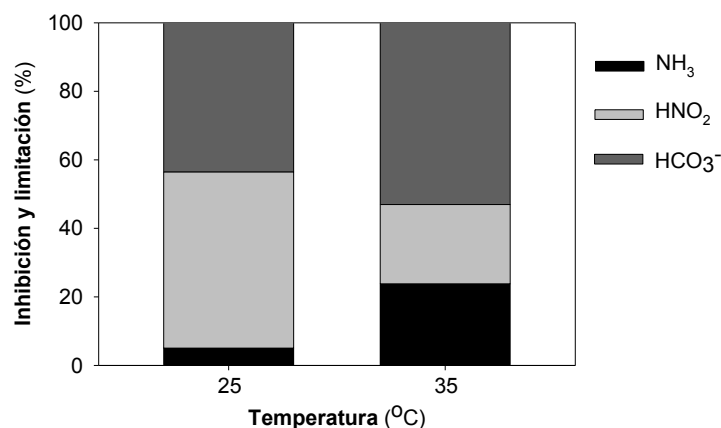


Figura 1 Reducción en porcentaje de la actividad de nitrificación causada por la inhibición mediante NH_3 y el HNO_2 con la limitación por HCO_3^- .

Ganigué et al., (2009) determinaron que la fracción molar $\text{HCO}_3^- : \text{NH}_4^+$ del afluente (1.14) determina estequiométricamente la fracción molar $\text{NO}_2^- : \text{NH}_4^+$ del efluente necesaria para el proceso posterior anammox (1.32). Durante los experimentos totalmente aerobios a 25°C y 35°C , la fracción molar $\text{HCO}_3^- : \text{NH}_4^+$ del afluente fue correctamente ajustada (1.12-1.17). En consecuencia, la fracción molar $\text{NO}_2^- : \text{NH}_4^+$ del efluente del PN-SBR fue adecuada para la alimentación posterior del reactor anammox (1.23-1.32). En cambio, cuando las fases de alimentaciones anóxicas fueron añadidas, la fracción molar $\text{NO}_2^- : \text{NH}_4^+$ del efluente (1.0) fue menor a la esperada debido a la eliminación de NO_2^- mediante la desnitrificación heterotrófica aunque la fracción $\text{HCO}_3^- : \text{NH}_4^+$ del afluente fue ajustada a 1.14.

Por otra parte, la bDQO fue eliminada en todos los experimentos. En este sentido, se optimizaba la calidad efluente para alimentar al posterior reactor anammox ya que, además de proporcionar el contenido de nitrito adecuado, se evitaba el riesgo de competencia entre bacterias anammox y bacterias heterotróficas (Ruscalleda, et al., 2008). Las alimentaciones anóxicas fueron introducidas en el ciclo del PN-SBR para desnitrificar parte del nitrógeno vía nitrito usando como fuente de electrones la bDQO y poder reducir así el consumo de oxígeno para la oxidación de la bDQO. De esta forma se eliminó entre un 10 y 20% del nitrógeno total del afluente ($2300\text{-}2500 \text{ mg N-TN}_{\text{inf}} \text{ L}^{-1}$; (Gabarró, et al., 2014)). Sin embargo, altas concentraciones de NO_2^- y baja fracción bDQO/N pueden ocasionar la acumulación indeseada de intermedios de desnitrificación como el N_2O , que tienen un alto potencial de gas de efecto invernadero (Scaglione et al., 2013).

La emisión total de N_2O del PN-SBR alternando la aeración fue del 3.6% del nitrógeno total del afluente. Este valor se encuentra dentro del rango de emisiones de N_2O de otros sistemas de eliminación biológica de altas cargas de nitrógeno. Las fases anóxicas y aerobias contribuyeron al 60 y 40% respectivamente del total de producción de N_2O . Estos resultados son contrarios a los encontrados en la depuración de aguas residuales urbanas, en los que el N_2O se genera mayoritariamente en fase aerobia

(Ahn et al., 2010). Experimentos de desnitrificación en batch demostraron que la velocidad de eliminación de NO_2^- de los fangos del PN-SBR ($5.7\text{-}7.8 \text{ mg N gVSS}^{-1} \text{ h}^{-1}$) era siempre superior a la de eliminación de N_2O , independientemente de la fracción bDQO/N (Gabarró, et al., 2014).

La disminución de temperatura del proceso PN-SBR a 25°C se ha demostrado viable durante este estudio. El factor limitante en el proceso Panammox® es la temperatura operacional del reactor anammox ya que las altas concentraciones de NH_4^+ contenidas en el lixiviado requieren operar a condiciones óptimas para biomasa anammox (temperaturas superiores de $30\text{-}37^\circ\text{C}$). La inclusión de fases anóxicas debería ser evitada teniendo en cuenta las emisiones de N_2O en condiciones tan extremas. No obstante, si solo se tiene en cuenta la calidad del efluente en términos de fracción molar $\text{NO}_2^- : \text{NH}_4^+$, las fases anóxicas permiten optimizar el contenido de alcalinidad afluente en el PN-SBR y reducir los costes en reactivos para el ajuste de la fracción $\text{HCO}_3^- : \text{NH}_4^+$ del afluente cuando el lixiviado presenta un valor superior al estequiométrico de 1.14.

4. Conclusiones

El PN-SBR es una tecnología robusta y ha operado de forma estable produciendo un efluente de calidad a pesar de los cambios operacionales aplicados. El descenso de temperatura del proceso Panammox® está limitado a día de hoy por la temperatura operacional del reactor anammox. La inclusión de fases anóxicas no es recomendable en teniendo en cuenta las emisiones de N_2O (3.6% del NT_{inf}) ya que mayoritariamente fueron producidas durante las fases anóxicas (60%).

5. Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Gobierno Español (CONSOLIDER CSD2007-00055, ITACA y N-OPTIMMOX IPT-2011-1073-310000). J.Gabarró quiere agradecer la beca predoctoral de la Universidad de Girona (BR 2011).

6. Bibliografía

- Ahn, J. H., Kim, S., Park, H., Rahm, B., Pagilla, K., & Chandran, K. (2010). N₂O emissions from activated sludge processes, 2008-2009: Results of a national monitoring survey in the united states. *Environmental Science and Technology*, *44*(12), 4505-4511.
- Gabarró, J., Ganigué, R., Gich, F., Rusalleda, M., Balaguer, M. D., & Colprim, J. (2012). Effect of temperature on AOB activity of a partial nitrification SBR treating landfill leachate with extremely high nitrogen concentration. [doi: 10.1016/j.biortech.2012.09.011]. *Bioresource Technology*, *126*(0), 283-289.
- Gabarró, J., González-Cárcamo, P., Rusalleda, M., Ganigué, R., Gich, F., Balaguer, M. D., et al. (2014). Anoxic phases are the main N₂O contributor in partial nitrification reactors treating high nitrogen loads with alternate aeration. *Bioresource Technology*, *163*(0), 92-99.
- Ganigué, R., Gabarró, J., Sanchez-Melsio, A., Rusalleda, M., Lopez, H., Vila, X., et al. (2009). Long-term operation of a partial nitrification pilot plant treating leachate with extremely high ammonium concentration prior to an anammox process. *Bioresource Technology*, *100*(23), 5624-5632.
- Rusalleda, M., Lopez, H., Ganigué, R., Puig, S., Balaguer, M. D., & Colprim, J. (2008). Heterotrophic denitrification on granular anammox SBR treating urban landfill leachate. [Article]. *Water science and technology*, *58*(9), 1749-1755.
- Scaglione, D., Tornotti, G., Teli, A., Lorenzoni, L., Ficara, E., Canziani, R., et al. (2013). Nitrification denitrification via nitrite in a pilot-scale SBR treating the liquid fraction of co-digested piggery/poultry manure and agro-wastes. *Chemical Engineering Journal*, *228*, 935-943.