

Efecto del número de ciclos anóxicos/aerobios sobre la eliminación biológica de nitrógeno en un sistema de fangos activados en discontinuo (SBR)*

Carolina Venegas**, José Manga***, Diego Abad****

Grupo de Investigación en Tecnologías del Agua
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Norte
Barranquilla (Colombia)

Josep Ribes*****

Grupo de Investigación CALAGUA
Universidad Politécnica de Valencia (España)

Resumen

Con este trabajo se estudió el efecto que tiene el número de ciclos anóxicos/aerobios sobre la eliminación biológica de nitrógeno en un sistema de fangos activados en discontinuo (SBR), teniendo en cuenta variaciones en el tiempo de retención celular y la duración del ciclo de operación. Se utilizó una herramienta informática (DESASS) para simular los procesos de eliminación biológica de nitrógeno en un SBR. Se simularon treinta y dos condiciones de operación resultantes de la combinación de cuatro tiempos de retención celular (6, 8, 10 y 12 días), dos duraciones de ciclo de operación (6 y 8 horas) y cuatro diferentes frecuencias de las fases anóxica/aerobia (3, 5, 7 y 10 subciclos). Los resultados muestran que para los casos estudiados, el aumento en el número de las fases anóxica/aerobia favorece la eliminación de nitrógeno. Se reconoce el uso de la modelación matemática para la optimización de procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Sistema de fangos activados en discontinuo (SBR), modelación matemática, eliminación biológica de nitrógeno, fangos activados.

Fecha de recepción: 8 de marzo de 2003
Fecha de aceptación: 1 de abril de 2004

* Este estudio es producto de una investigación conjunta, desarrollada dentro del marco del programa de «Jóvenes Investigadores» de la Universidad del Norte de Barranquilla (2003-2004) y el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología «Francisco José de Caldas» (COLCIENCIAS) bajo contrato N° 377 - 2002.

** Ingeniero Civil, Universidad del Norte; Especialista en Ingeniería de Saneamiento Ambiental de la misma universidad. cbvenegas@yahoo.com

*** Ingeniero Civil, Universidad del Norte; Doctorado en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Valencia (España). Profesor e investigador del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Norte. jmanga@uninorte.edu.co

**** Ingeniero Civil, Universidad del Norte; Especialista en Ingeniería de Saneamiento Ambiental de la misma universidad. djabad@hotmail.com

***** Ingeniero Químico y Doctor en Ingeniería de la Contaminación Medioambiental, Universidad Politécnica de Valencia (España). Profesor del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la misma universidad. joriber@hma.upv.es

Abstract

The effect of the number of cycles anoxic/aerobic over the biological nitrogen removal in a sequencing batch reactor (SBR) was studied, taking into account variations on the sludge retention time and the total operation time. A computational tool (DESASS) has been used to study the behavior of one SBR in different operating conditions. Thirty-two sets of operational parameters resulting from the combination of 6, 8, 10 and 12 days of sludge retention time; 6 and 8 hours of operation cycle time and 3, 5, 7 and 10 of anoxic/ aerobic sequences were simulated. The results shown that the increase in the frequency in the anoxic/aerobic phases improve the nitrogen removal. The use of the mathematical model in the simulation and optimization for biological process to the wastewater treatment was recognized.

Key words: Sequencing batch reactor (SBR), simulation, biological nitrogen removal, activated sludge.

INTRODUCCIÓN

El sistema de fangos activados en discontinuo (SBR) comprende una serie de fases secuenciales, tales como llenado, reacción, sedimentación, purga, vaciado e inactividad, cada una con un período de tiempo definido [1]. Dependiendo del objetivo de calidad que se requiere en el agua efluente, las anteriores fases se combinan de diferentes formas. El sistema puede orientarse para la eliminación de materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y/o fósforo). En este sentido, para la eliminación biológica de nitrógeno se requiere de la ocurrencia de dos procesos biológicos. Por una parte, el proceso de nitrificación en condiciones aerobias, y por otra, el proceso de desnitrificación en condiciones anóxicas. En la literatura se han propuesto diferentes esquemas para los procesos de eliminación biológica de nitrógeno en un SBR [2, 3, 4].

Dentro de los parámetros más importantes que afectan el comportamiento de un sistema de fangos activados en discontinuo se tienen: el número de ciclos de llenado-mezclado y aireación (anóxico/aerobio) y el tiempo de retención celular (TRC). En la literatura científica se han publicado distintos estudios que muestran la relación entre el TRC y la eliminación biológica de nitrógeno [4, 5, 6, 7, 8], sin embargo, pocos estudios muestran la relación entre el número de ciclos de llenado-mezclado y aireación (anóxico/aerobio) y la eliminación biológica de nitrógeno [9, 10]. Estudios experimentales realizados en laboratorio muestran que el número y la duración de los ciclos anóxicos/aerobios afectan los procesos de eliminación biológica de nitrógeno [11, 12, 13].

En este trabajo se utilizó el simulador DESASS (*Design and Simulation of Activated Sludge Systems* [14]), desarrollado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica

lica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (España), para el estudio del efecto que tiene el número de ciclos de las fases anóxica/aerobia sobre la eliminación biológica de nitrógeno en un sistema de fangos activados en discontinuo (SBR), teniendo en cuenta variaciones en el tiempo de retención celular y la duración del ciclo de operación.

SIMULACIÓN

Simulador de fangos activados

DESASS es un simulador de plantas de tratamiento de aguas residuales, configurado bajo plataforma Windows, diseñado y optimizado para el estudio de los procesos biológicos de eliminación de materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y/o fósforo). El simulador tiene implementado un algoritmo de modelación matemática basado en un modelo biológico general que incluye el modelo de fangos activados número 2 modificado (ASM2d) de la IWA [15].

Condiciones de operación

A continuación se muestra el esquema de operación del sistema SBR. Para el estudio del efecto del número de ciclos de las fases anóxica/aerobia sobre la eliminación biológica de nitrógeno en un SBR, se consideraron treinta y dos condiciones de operación resultantes de la combinación de cuatro tiempos de retención celular (6, 8, 10 y 12 días), dos duraciones de ciclo (6 y 8 horas) y cuatro diferentes frecuencias de las fases anóxica/aerobia (3, 5, 7 y 10 subciclos) (véase figura 1 y tabla 1).

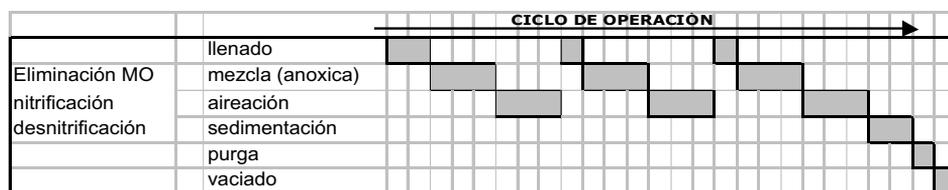


Figura 1. Secuencia de los ciclos en un SBR para eliminación de materia orgánica y nitrógeno

Tabla 1
Condiciones de operación simuladas

	BATCH 1	BATCH 2	BATCH 3	BATCH 4
N° subciclos anóxico/aerobio simulados	3	5	7	10
TRC simulados (días)	6, 8, 10, 12	6, 8, 10, 12	6, 8, 10, 12	6, 8, 10, 12
Duración de ciclo simulado (horas)	6, 8	6, 8	6, 8	6, 8
Parámetros estudiados*	SST, S _{NH4v} S _{NO3v} , NTS			

*SST: Sólidos suspendidos totales, S_{NH4v}: Amonio, S_{NO3v}: Nitrato, NTS: Nitrógeno total soluble.

Simulaciones

Utilizando la herramienta informática DESASS se llevó a cabo la simulación del funcionamiento del SBR orientado a la eliminación biológica de materia orgánica y nitrógeno. En la figura 2 se muestra la ventana de entrada del simulador.

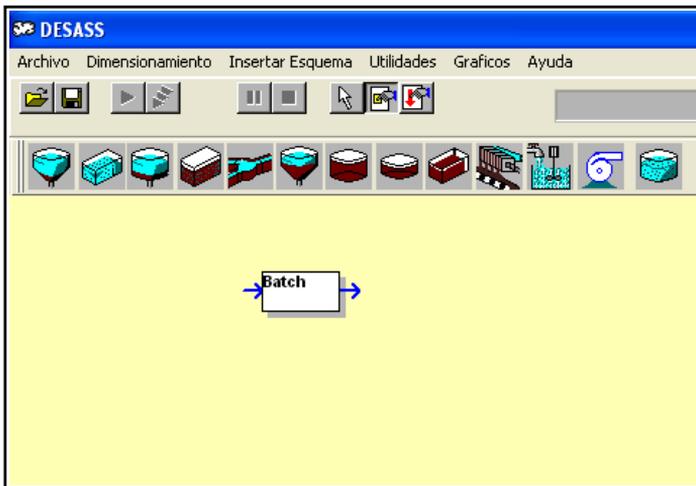


Figura 2. Ventana del simulador DESASS
(*Design and Simulation of Activated Sludge System*)

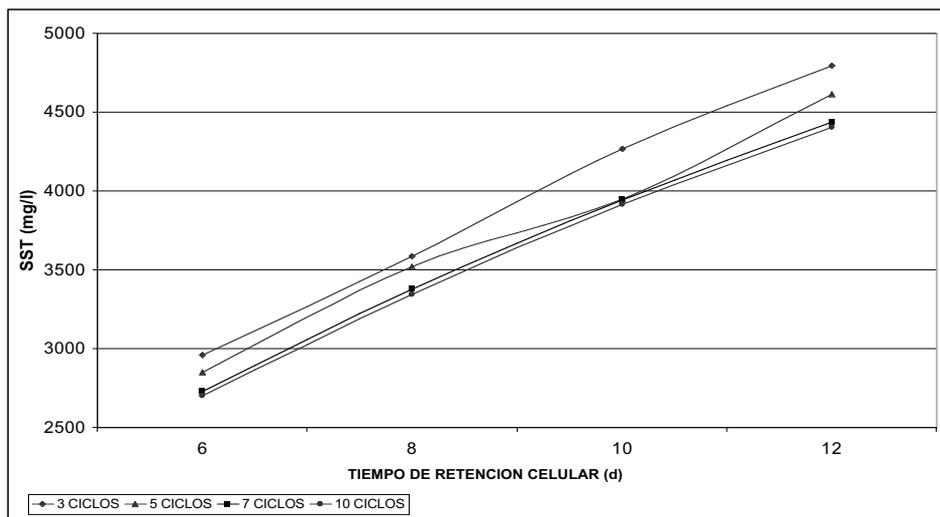
En la tabla 2 se muestran las características del agua residual influente utilizadas, las cuales corresponden a un agua residual doméstica. Por otra parte, dado que el modelo utilizado incluye un elevado número de parámetros, se utilizaron los valores de los parámetros cinéticos y estequiométricos propuestos por Henze [16].

Tabla 2
Caracterización del agua residual influente

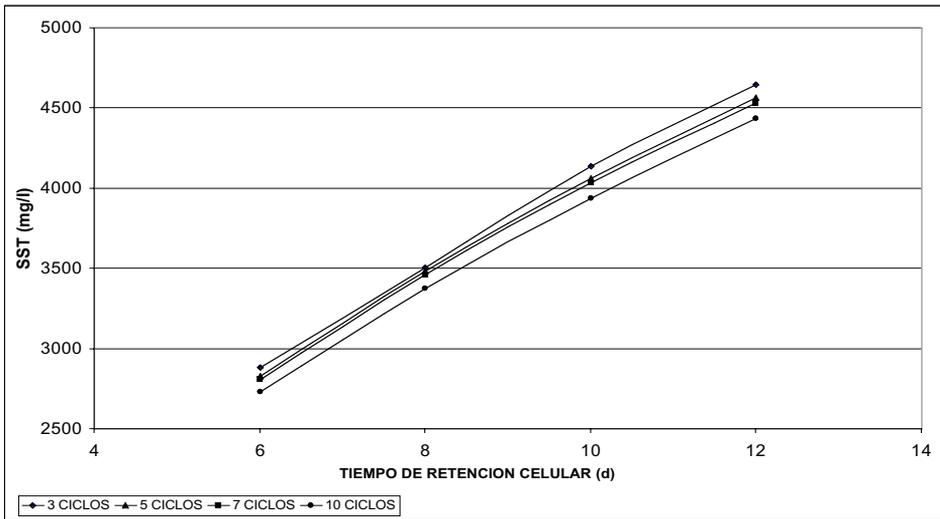
Parámetro	Componente soluble (mg/l)	Parámetro	Componente particulado (mg/l)
S_{O_2}	0.01	X_I	75
S_F	210.0	X_S	360
S_A	40.0	X_H	0
S_{NH_4}	16.0	X_{PAO}	0
S_{NO_3}	5.0	X_{PP}	0
S_{PO_4}	5.0	X_{PHA}	0
S_I	30.0	X_{AUT}	0
Alcalinidad	208	X_{SST}	344.50
pH	7	X_{TNV}	40
S_{PRO}	4.0		

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las siguientes gráficas presentan el efecto que tiene el número de fases anóxica-aerobia sobre la eliminación biológica de nitrógeno en un SBR en estado estacionario, teniendo en cuenta variaciones en el tiempo de retención celular y la duración del ciclo de operación. Cabe anotar que en las simulaciones realizadas no se tuvieron en cuenta las fases de sedimentación y purga del sistema.



3a. Duración total del ciclo de operación: 8h

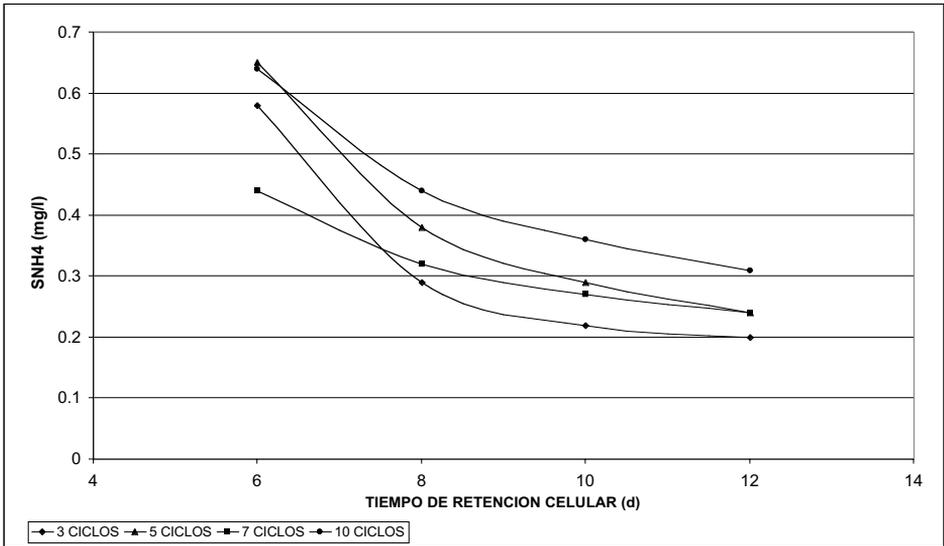


3b. Duración total del ciclo de operación: 6h

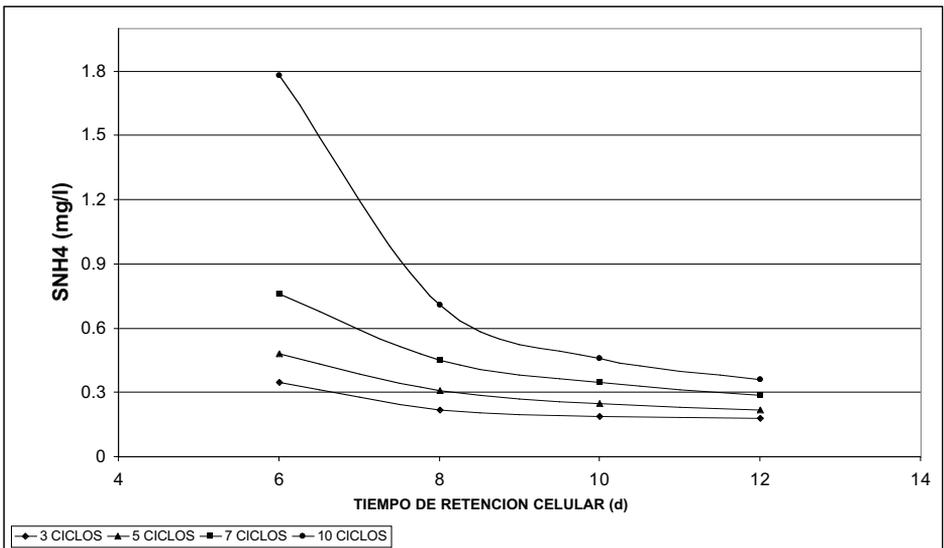
Figura 3. Efecto del número de ciclos anóxico/aerobio sobre la concentración de sólidos suspendidos totales SST (mg/l) en el reactor, teniendo en cuenta variaciones en el tiempo de retención celular y la duración total del ciclo de operación

La figura 3 representa el efecto del número de ciclos anóxico/aerobio sobre la concentración de sólidos suspendidos (SST) en el reactor. No se observan incrementos en la concentración de sólidos para un mismo número de fases anóxica/aerobia cuando se disminuye la duración del ciclo de operación; sin embargo, se observa que los SST aumentan a menor número de fases anóxica/aerobia y altos tiempos de retención celular. Esto debido a que la biomasa permanece más tiempo dentro del sistema, lo que favorece una mayor producción de sólidos.

Como se observa en la figura 4, la eliminación de S_{NH4} se ve favorecida a menor número de ciclos anóxico/aerobio y mayores tiempos de retención celular; por su parte, la duración del ciclo de operación no muestra un efecto representativo sobre la eliminación de amonio. En la figura 5 se observa que el incremento en el número de fases anóxica/aerobia representa una disminución en la concentración de nitrato (S_{NO3}) en el reactor cuando el sistema es sometido a altos tiempos de retención celular y a cortos ciclo de operación. Sin embargo, esta disminución deja de ser importante al pasar de 7 a 10 ciclos o más, y se establece un valor óptimo de 7 ciclos y próximos para la eliminación de nitrógeno total soluble en todos los casos estudiados.

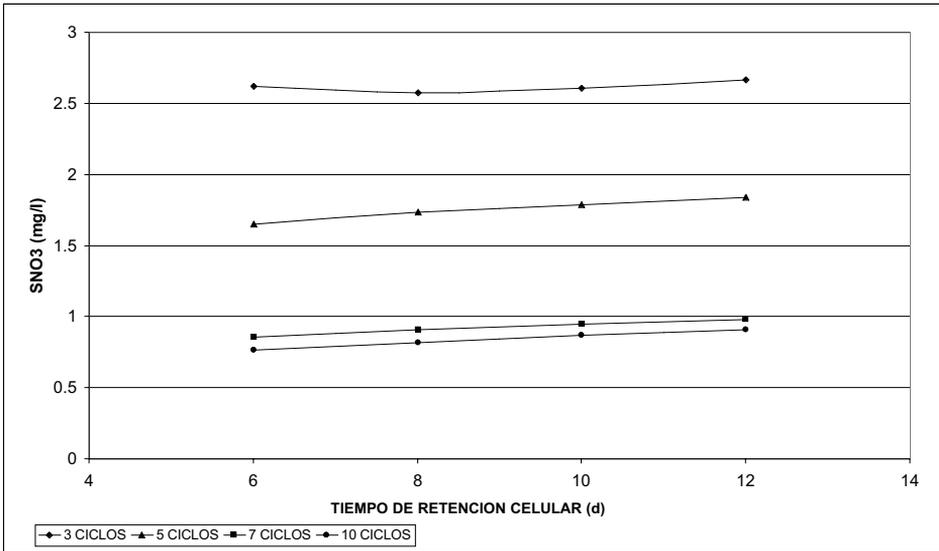


4a. Duración total del ciclo de operación: 8h

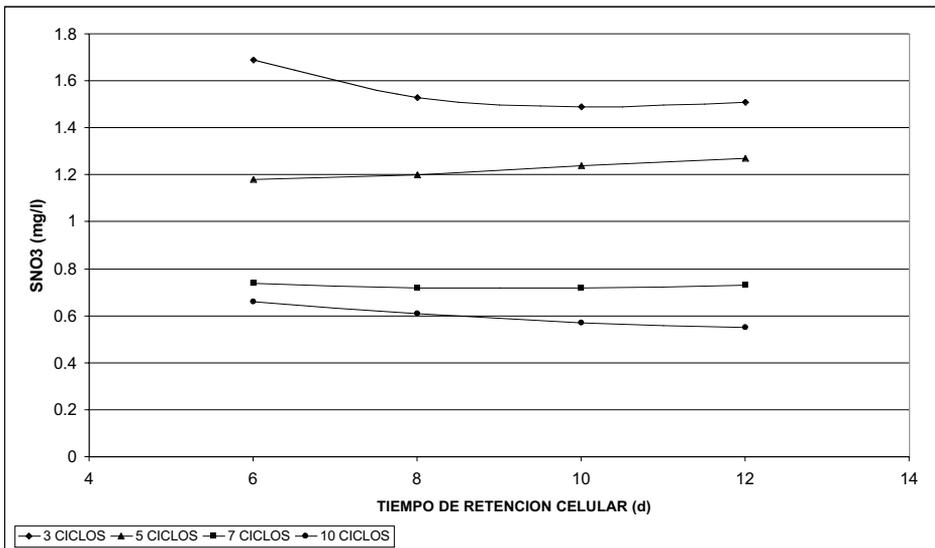


4b. Duración total del ciclo de operación: 6h

Figura 4. Efecto del número de ciclos anóxico/aerobio sobre la concentración amonio, S_{NH_4} (mg/l), en el reactor, teniendo en cuenta variaciones en el tiempo de retención celular y la duración total del ciclo de operación



5a. Duración total del ciclo de operación: 8h



5b. Duración total del ciclo de operación: 6h

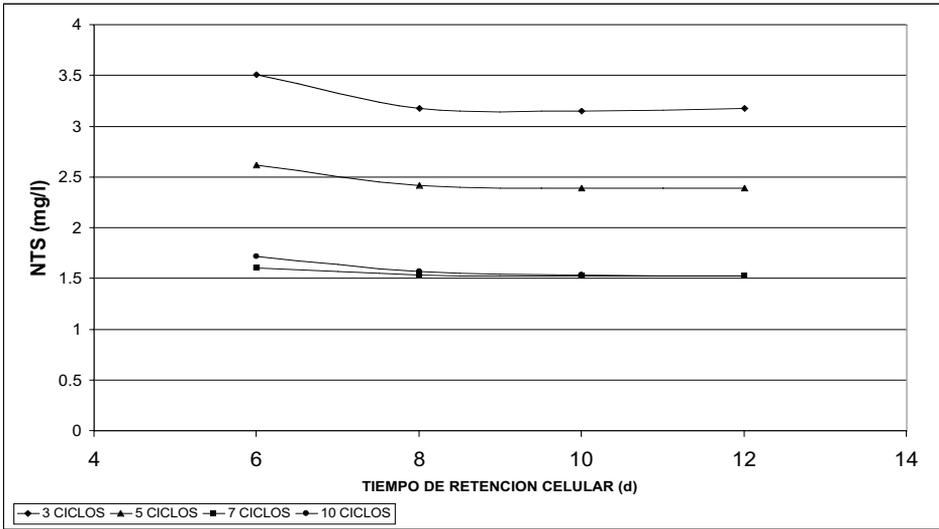
Figura 5. Efecto del número de ciclos anóxico/aerobio sobre la concentración de nitrato, S_{NO_3} (mg/l), en el reactor, teniendo en cuenta variaciones en el tiempo de retención celular y la duración total del ciclo de operación

De acuerdo con los resultados obtenidos, puede decirse que, bajo las condiciones de operación estudiadas, los valores en la concentración de amonio (en el reactor) fueron bajos. En general, a menor número de ciclos anóxico/aerobio, para el mismo tiempo de retención celular, la eliminación de amonio en el reactor aumentó. Este hecho se asocia al aumento de la concentración de SST, lo que indica un aumento en la concentración de la población microbiana nitrificante (X_{AUT}). Igualmente, asociado al aumento de los SST, se presentó una disminución en la concentración de la población desnitrificante (X_H). Esto hace que se desmejore la capacidad de desnitrificación del sistema, y por lo tanto la eliminación de nitrato del mismo. Esta situación puede atribuirse al hecho de que los organismos desnitrificantes toman ventaja competitiva en sistemas SBR sometido a la aplicación de alto número de ciclos anóxico/aerobio. Por otra parte, los valores de la concentración de nitrato en el reactor no se ven afectados significativamente por la variable tiempo de retención celular. Con valores constantes en el número de ciclos anóxico/aerobio y la duración del ciclo, la masa de la población desnitrificante (X_H) mantiene un valor similar para los diferentes tiempos de retención celular. Cabe resaltar que acompañando al aumento del tiempo de retención celular en el sistema, se aumenta la concentración de organismos nitrificantes. Este hecho se refleja en las bajas concentraciones de S_{NH_4} en el reactor.

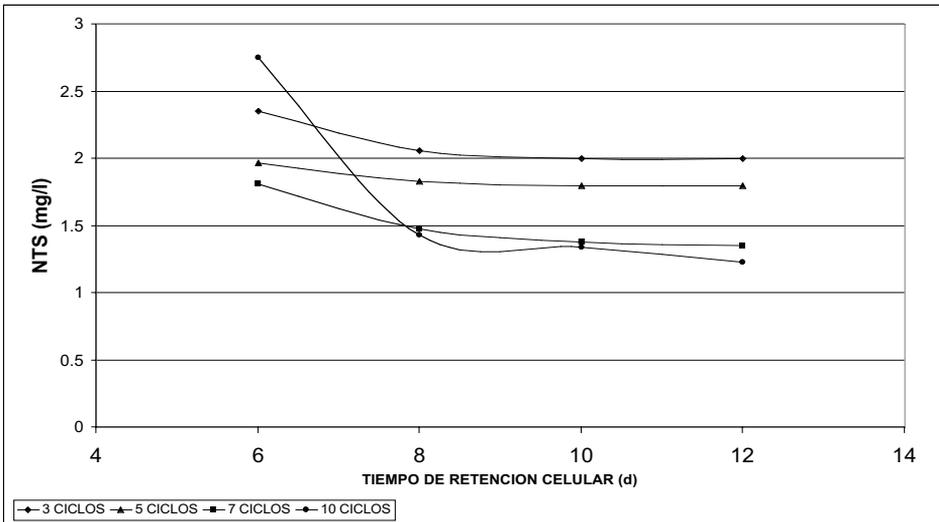
Los anteriores resultados son consistentes con distintos estudios experimentales encontrados en la bibliografía. Sheker *et al.* (1993) y Fujii (1996) muestran que menores números de ciclos anóxicos/aerobios y altos tiempos de retención celular favorecen el proceso de nitrificación; mientras que en la desnitrificación, ésta se ve favorecida cuando el sistema es sometido a un mayor número de ciclos anóxicos/aerobios y se tiene un mayor número de ciclos al día.

Por otra parte y teniendo en cuenta los anteriores comentarios, en la figura 6 se puede observar que un incremento en el número de ciclos anóxicos/aerobios y altos tiempos de retención celular favorece la eliminación de nitrógeno en forma de nitrógeno total soluble (NTS) en el reactor; mientras que la variación de la duración del ciclo de operación no presenta un efecto importante sobre la eliminación.

Finalmente, la concentración de NTS se vio afectada por las variaciones en las concentraciones de S_{NO_3} dado que los valores de S_{NH_4} fueron bajos. Esto debido a que la concentración de S_{NO_3} depende de la eficacia del proceso de desnitrificación, el cual está asociado a la presencia de X_H en el sistema.



6a. Duración total del ciclo de operación: 8h



6b. Duración total del ciclo de operación: 6h

Figura 6. Efecto del número de ciclos anóxico/aerobio sobre la concentración de NTS en el reactor, teniendo en cuenta variaciones en el tiempo de retención celular y la duración total del ciclo de operación

CONCLUSIONES

Se ha utilizado una herramienta informática (DESASS) para simular los procesos de eliminación biológica de nitrógeno en sistemas de fangos activados en discontinuo (SBR) bajo diferentes condiciones de operación. Se estudió el efecto que tiene el número de ciclos de las fases anóxica / aerobia sobre la eliminación biológica de nitrógeno en SBR teniendo en cuenta variaciones en el tiempo de retención celular y la duración del ciclo de operación. Para los casos estudiados se demostró que uno de los parámetros de mayor influencia en la remoción de nitrógeno es el número de fases anóxicas / aerobias, teniendo que a mayor número de ciclos se ve favorecida la eliminación biológica de nitrógeno, y existe un límite a partir del cual la mejora deja de ser significativa. De acuerdo con lo anterior, se sugiere la consideración de esta variación en la operación para la optimización del proceso de eliminación de nitrógeno en sistemas SBR.

Referencias

- [1] WILDERER, P.A., IRVINE, R.L. & GORONSKY, M., Sequencing Batch Reactor Technology. *Scientific and Technical Report* N° 10. International Water Association Publishing, 2001.
- [2] OLES, J. & WILDERER, P.A., Computer aided design of sequencing batch reactors based on the IAWPRC activated sludge model. *Water Science and Technology*, 23 (4-6), 1087-1095, 1991.
- [3] GRADY, L., DAIGGER, G.T. & LIM, H.C., *Biological wastewater treatment*, 1980.
- [4] CRITES, R. & TCHOBANOGLOUS, G., *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. McGraw-Hill, 2000.
- [5] BARKER, P.S. & DOLD, P.L., General model for biological nutrient removal activated-sludge system: model presentation. *Water Environment research*, 69 (5), 969-984, 1997.
- [6] RODRIGO, M.A., SECO, A., PENYA-ROJA, J.M. & FERRER, J., Influence of sludge age on enhanced phosphorus removal in biological systems. *Water Science and Technology*, 34 (1/2), 41-48, 1996.
- [7] POTTER, T.G., KOOPMAN, B. & SVORONOS, S.A., Optimization of a periodic biological process for nitrogen removal from wastewater. *Water Research*, 30(1), 142-152, 1996.
- [8] HAIDER, S., VANROLLEGHEM, P.A. & KROI, H., Low sludge age and its consequences for metabolisation, storage and adsorption of readily biodegradable substrate (S_s).
- [9] SHEKER, R.E., ARIS, R.M. & SICH, W.K., The effects of fill strategies on SBR performance under nitrogen deficiency and rich conditions, 1993.
- [10] FUJII, S., Theoretical analysis on nitrogen removal of the step-feed anoxic-oxic activated sludge process and its application for the optimal operation, 1996.
- [11] FIKAR, M., CHACHUAT, B. & LATIFI, M., *Optimal Operation of alternating Activated Sludge Process*, 2001.

- [12] GÖRGÜN, E., ARTAN, N., ORHON, D. & SÖZEN, S., Evaluation of nitrogen removal by step feeding in large treatment plants, 1996.
- [13] YANG, L. & ALLEMAN, J., E. Investigation of batch-wise nitrite build-up by an enriched nitrification culture. *Water Science Technology* 26, 1992.
- [14] FERRER, J., SECO, A., SERRALTA, J., RIBES, J., MANGA, J., ASENSI, E., MORENILLA, J.J. & LLAVADOR, F., DESASS: Una herramienta informática para el diseño, simulación y optimización de EDARs. Enviado para publicación a *Tecnología del Agua*, 2004.
- [15] HENZE, M., GUJER, W., MINO, T. & MATSUO, T., Activated Sludge Model N° 2D, ASM2D. *Water Science and Technology*, 39(1), 1999.
- [16] HENZE, M., GUJER, W., MINO, T., MATSUO, T., WENTZEL, M. & MARAIS, G.V.R. Activated Sludge Model N° 2, *IAWQ Scientific and technical report*. Londres, IAWQ, 1995.