

Biological nitrogen, COD and phenol removal in a sequencing batch reactor in synthetic chemical effluent

Altamira Díaz*, Patricia Ferrer, Emilia Mazzolo, Mireya Ferrer, Nancy Rincón, Gilberto Colina

*Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental DISA, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. Telf. 0058-261-7598743 / 7598816
Telf.-fax. 0058-261-7598743. *adiatz2430@hotmail.com.*

Abstract

Sequencing Batch Reactor (SBR) process has been shown to be efficient for the treatment of agroindustrial, chemical, and municipal effluents. The SBR accomplishes equalization, aeration, and clarification in a timed sequence in a single reactor basin. Experiments in a lab-scale SBR were conducted to demonstrate the possibility of joining biological DCO, phenol and nitrogen removal in treating synthetic chemical effluents. For this study, a lab-scale a 2,0 liter reactor was used. Operation conditions were establish to obtain highest removal rates with a well established microbial community with a suspended biomass configuration and operating under aerobic conditions, operating the system for 112 days, using an operating strategy with four combination phases fill, react, settle, draw and idle. Various organic loading rates (1,05 kg COD/m³/d. and 3,18 kg COD/m³/d) were employed. The system worked successfully obtaining removals of nitrogen, COD and phenol of 34.7%, 83.3% y 96,0% respectively, for hydraulic retention times HRT 8 h, setting: 1 h, discontinuous aeration and idle: 0.5 h.

Key words: Sequencing batch reactor, biological aerobic treatment, nitrification, phenol removal, synthetic chemical effluent, denitrification.

Remoción simultánea de nitrógeno, DQO y fenol en un efluente sintético utilizando reactores SBR

Resumen

El Reactor por carga secuencial (SBR) ha demostrado su eficiencia en el tratamiento de efluentes municipales, químicos y agroindustriales. El SBR involucra procesos de mezclado, aireación y sedimentación en un tiempo secuencial y en un simple tanque-reactor. En este estudio se utilizó un SBR a escala laboratorio para la remoción simultánea de DQO, fenol y nitrógeno en un efluente sintético. El volumen de operación del reactor fue 2 L. Se aplicaron cuatro condiciones de operación para maximizar la eficiencia de remoción obteniendo una aclimatación de las comunidades microbianas a biomasa suspendida, bajo condiciones aeróbicas, operando durante 112 días y utilizando una estrategia de operación con cuatro combinaciones entre las fases de llenado, reacción, sedimentación, vaciado e inactividad. Se emplearon dos cargas orgánicas de 1,05 kg DQO/m³/día y 3,18 kg DQO/ m³/d. El sistema trabajó eficientemente alcanzando porcentajes promedios de eliminación de nitrógeno, DQO y fenol de 34,7%, 83,3% y 96,0% respectivamente para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 8 h, un tiempo de sedimentación de 1h, aireación intermitente y una fase inactiva de 0,5 h.

Palabras clave: Reactor por carga secuencial (SBR), tratamiento biológico aeróbico, desnitrificación, efluente sintético, remoción de fenol.

Introducción

Los desechos líquidos industriales son el resultado de diversos procesos llevados a cabo en diversas áreas tanto comerciales como industriales. Estos desechos pueden estar conformados por las aguas propias de proceso y de operaciones de limpieza entre otras. La diversidad de procesos se refleja en la variabilidad de las características de las aguas residuales, de allí que resulte un desafío el diseñar un tratamiento que sea flexible y pueda hacer frente a las variaciones encontradas en la composición de los efluentes industriales [1]. La presencia de nutrientes como nitrógeno y fósforo en exceso promueven una generación continua y masiva de biomasa, ocasionando un crecimiento acelerado de las algas y de la materia orgánica que requiere oxígeno para la oxidación, de esta manera se degrada la calidad de las aguas receptoras, favoreciendo el proceso de eutroficación, generada principalmente por la carencia de control en el vertido de desechos [2, 3].

El vertido de aguas residuales al Lago de Maracaibo ha ocasionado cambios en las características y calidad de sus aguas [4], por lo cual se hace prioritario la innovación y aplicación de tecnologías emergentes para la eliminación biológica de nutrientes en dichos efluentes.

El uso de reactores por carga secuencial (SBR) cuya eficiencia ha sido largamente estudiada y comprobada a través de los años, en relación al costo y remoción de contaminantes orgánicos en aguas domésticas e industriales [5], se perfila como una tecnología apropiada para su uso en el tratamiento de estos efluentes. Se ha demostrado que estos sistemas son capaces de alcanzar altos niveles de remoción de fenol en aguas residuales salinas, con concentraciones de fenol de hasta 1000 mg/L en la entrada [6].

El objetivo de este estudio fue evaluar las condiciones óptimas de operación del Reactor por Carga Secuencial (SBR) para la remoción de nitrógeno, fósforo y compuestos orgánicos globales (medidos como DQO), de un efluente industrial sintético, cuyos valores serán comparados con las normas establecidas por Legislación Venezolana, para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos.

Materiales y métodos

Reactor por Carga Secuencial

El Reactor por Carga Secuencial utilizado fue construido con plexiglás transparente, con una capacidad de funcionamiento de 2 L, en la cual el 30% (0,6 L) corresponde al volumen del lodo, y el 70% (1.4L) al efluente sintético. El resto de las dimensiones se muestran en la Tabla 1.

El llenado del reactor se realizó manualmente, para la aireación se utilizó un compresor de aire conectado a una tubería flexible acoplada en serie con un dispositivo difusor dispuesto en el fondo del reactor. La fase de mezclado se llevó a cabo a través de un mezclador eléctrico vertical de cuatro aspas, conectado a un regulador de revoluciones.

Efluente sintético

Para el montaje del reactor se procedió a preparar diariamente 4 L de una solución sintética con características similares a un efluente industrial petrolero, que contenía una relación de nutrientes C:N:P de 100:7:2. En este proceso la solución sintética presentó una DQO inicial de 1500 ppm. El pH fue ajustado (aproximadamente a 7) adicionándole un agente externo de alcalinidad (bicarbonato de sodio).

La variación en la concentración de fenol contenido en el efluente sintético, para las diferentes etapas de operación del reactor pueden observarse en la Tabla 2.

Proceso experimental

En el proceso de aclimatación simple, el efluente fue sometido a una secuencia de ciclos de aclimatación para lograr la adaptación de los microorganismos en forma gradual, esta fase se extendió durante un periodo de nueve días, tiempo suficiente para alcanzar un alto porcentaje de remoción de la DQO. Inicialmente el tiempo de retención hidráulico correspondió a dos días, cargando el reactor con un 20% de influente y 80% de agua destilada más los nutrientes. Seguidamente durante tres días consecutivos el porcentaje de dilución fue modificado a 50% de influente, agregando también los nutrientes. Finalmente por duplicado y con un tiempo de retención hidráulico de dos días, se utilizó un 70% de

Tabla 1
Dimensiones del SBR

Características del SBR	Valor
Diámetro interno (cm)	15,0
Diámetro Externo (cm)	15,3
Volumen Total del reactor (L)	6,6
Volumen de Operación (L)	2,0
Volumen de influente tratado (L)	1,4
Volumen de lodo (L)	0,6
Altura Total (cm)	34,0
Altura Útil (cm)	11,3
Altura del lodo (cm)	3,4

influyente y el resto agua destilada, junto con los nutrientes. Al finalizar esta fase se procedió a cargar el reactor con el influente sin dilución, garantizando para este momento la completa aclimatación de la biomasa del efluente.

Se emplearon distintas condiciones de operación en las diferentes etapas del proceso, las cuales se describen en la Tabla 3.

El experimento se realizó a una temperatura aproximadamente de 24°C. Durante la fase experimental, se utilizaron los tiempos de retención hidráulicos (TRH) de 24 h y de 8 h, lo que corresponde a una fase de reacción de 23 y 7 h respectivamente, luego de culminada la fase de reacción se extraía el volumen del licor mezcla aproximadamente 133 mL/ciclo equivalente a un tiempo de retención celular θ_c de 15 días, tiempo recomendado para lograr un lodo estable, y evitar así un crecimiento excesivo de la masa microbiana, manteniendo un volumen de operación constante dentro del reactor [7, 8]. La carga orgánica en el reactor fue de 1,05 KgDQO/m³/d y 3,18 KgDQO/m³/d.

Se cumplió una fase de sedimentación con una duración de 30 min aproximadamente, la cual permitió la decantación de los sólidos suspendidos en la mezcla, obteniéndose un sobrena-

Tabla 2
Concentración del fenol en la solución sintética en las distintas etapas de operación del reactor

	Aclimatación	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4
Fenol (mg/L)	10	5	10	5	5

Tabla 3
Diferentes condiciones de operación aplicadas en las distintas etapas del proceso

Tiempos	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4
TRH (h)	24	8	8	8
Llenado Estático (h)	0,5	-	-	-
Llenado mezclado (h)	-	1	1	1
Aireado y mezclado (h)	-	-	0,25	0,25
Mezclado (h)	-	-	0,25	0,25
Aireado y mezclado (h)	-	-	0,25	0,25
Mezclado (h)	-	-	0,25	0,25
Reacción con Aireación (h)	22,5	-	-	-
Reacción con Mezclado y Aireación (h)	-	6	4,5	4,5
Sedimentación (h)	1	0,5	1	1,5
Fase Inactiva (h)	-	0,5	0,5	-

dante clarificado como efluente, una vez concluida la sedimentación se procedió a la descarga. Seguidamente se dio inicio a la fase inactiva, en la cual se favorece la adaptación de los microorganismos para el nuevo ciclo que comienza en el reactor [9]. Los parámetros fueron evaluados partiendo de lo establecido por organismos internacionales como métodos de referencia para la evaluación del agua y las aguas de desecho [10].

Resultados y discusión

La Tabla 4 presenta los valores de pH y alcalinidad de las diferentes muestras a la entrada y salida del reactor. Los porcentajes de remoción para los parámetros fósforo, fenol y la DQO que se determinaron para cada ciclo de operación del reactor durante la etapa de aclimatación, son mostrados en la Tabla 5.

El pH se mantuvo en el rango adecuado (pH óptimo mayor de 7), esto favorece el crecimiento de los microorganismos específicos que intervienen en los procesos de degradación y estabilización de la materia orgánica en los tratamientos [11]. Se observó una disminución en la alcalinidad a la salida del reactor, pero conservándose en un rango entre 80-100 mgCaCO₃/L, ya que un

pH controlado proporciona la alcalinidad necesaria y favorable para el proceso.

En la Tabla 6 se observan los valores promedios de pH y alcalinidad, obtenidos a la entrada y salida del reactor determinados en las diferentes etapas de operación del reactor. Durante tres de las cuatro etapas estudiadas se observa que el pH a la salida del reactor aumentó con respecto al de entrada, esto se debe a que en la reacción aeróbica ocurre una liberación de dióxido de carbono, que es eliminada por "Stripping" en la fase de aireación del proceso. Por el contrario se aprecia una disminución de la alcalinidad durante todas las etapas, a la salida del reactor con respecto a la entrada, debido posiblemente a la transformación del ión bicarbonato a dióxido de carbono [12].

La Tabla 7 muestra los valores promedio de los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV) presentes en el licor mezcla durante cada una de las etapas. Al culminar la primera etapa (TRH de 24 h) y la tercera de etapa (TRH de 8 h) ambas con un tiempo de sedimentación de 1 h, se notó la formación de espumas presumiblemente debido a la baja concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV) en

Tabla 4
Valores promedios, mínimos y máximos del pH y alcalinidad durante el proceso de aclimatación

	pH entrada	pH salida	Alcalinidad total de entrada (mgCaCO ₃ /L)	Alcalinidad total de salida (mgCaCO ₃ /L)
Media	7,4	7,6	273,0	88,5
Mínimo	7,2	7,1	252,0	80,0
Máximo	7,6	8,3	290,0	100,0

Tabla 5
Porcentaje de Remoción de Fenol, Fósforo y DQO durante la etapa de aclimatación

Ciclos	TRH (días)	% Dilución	% Remoción		
			Fenol	Fósforo	DQO
1	2	80	98,0	25,9	57,0
2	3	50	98,0	77,1	92,5
3	2	30	97,0	63,5	86,7
4	2	30	98,0	50,9	85,0

el licor mezcla [13]. Las concentraciones mínimas de SSV alcanzadas durante la primera y tercera etapa, fueron de 926 y 840 mg/L respectivamente, por lo que se hizo necesario la inoculación del reactor, con lodos originales, al inicio de la segunda y última etapa, para lograr una estabilización de la biomasa, lo cual será directamente proporcional a una eliminación de DQO mayor de 60%.

En la Figura 1 se presentan las diferentes concentraciones de DQO a la entrada y salida del reactor para cada una de las etapas o ciclos de operación estudiados. La carga orgánica aplicada fue de 1,05 Kg DQO/m³/d en la primera etapa, y de 3,18 Kg DQO/m³/d en las otras tres etapas. Los porcentajes de remoción de la DQO más importantes se alcanzaron durante la tercera y cuarta etapa, esto puede atribuirse a la inclusión

Tabla 6
Valores promedios de pH y Alcalinidad, determinados en las diferentes etapas de operación del reactor

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
pH entrada	7,2	7,3	7,4	7,5
pH salida	7,6	7,2	7,9	7,8
Alcalinidad Total entrada (mgCaCO ₃ /L)	202,0	325,0	403,3	421,1
Alcalinidad Total salida (mgCaCO ₃ /L)	92,0	221,8	311,1	330,5

Tabla 7
Valores promedios de sólidos determinados durante las diferentes etapas de operación del reactor

Tipos de sólidos	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
SST (mg/L)	1046	1250	1540	2491
SSV (mg/L)	930	1060	1333	2200
Relación SSV/SST	0,89	0,85	0,87	0,88

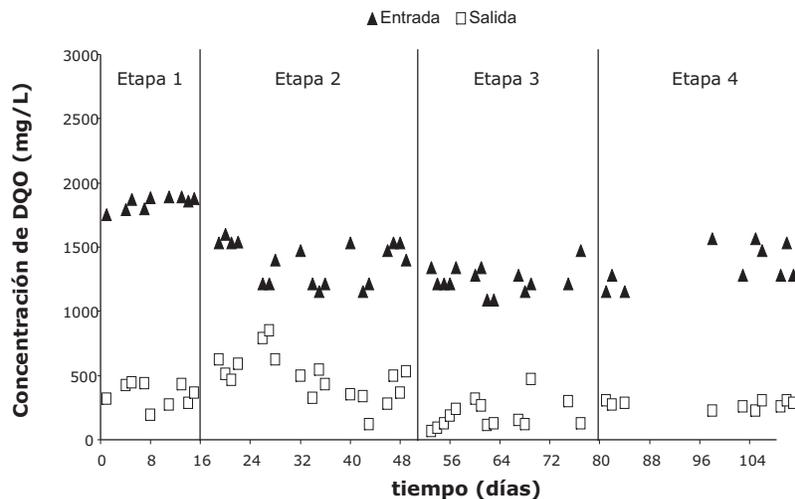


Figura 1. Evolución de la DQO a la entrada y salida del reactor durante las diferentes etapas de operación.

de periodos anaeróbicos/aeróbicos, es decir una aireación intermitente que favorece una mejor transferencia dentro del reactor y en consecuencia un efluente de mejor calidad [7, 9, 14].

En la Figura 2 se presentan las diferentes concentraciones de fenol a la entrada y salida del reactor para cada una de las etapas aplicadas. Luego del periodo de aclimatación se inicio la primera etapa con un TRH de 24 h, y una concentración de fenol de 5 mg/L, observándose en la Figura 2 concentraciones de hasta 0,14 mg/L de fenol a la salida del reactor. Por el contrario en la segunda etapa, con un TRH de 8 h y una concentración de fenol en el influente de 10 ppm, se observa una gran dispersión en las concentraciones,

debido al incremento de carga orgánica medida como DQO, por lo cual los microorganismos a través de la actividad enzimática tuvieron que degradar mayores cantidades de fenol en un periodo más corto de tiempo de retención hidráulico, sin alcanzar en esta etapa condiciones estables [15, 16].

En las etapas 3 y 4 con un TRH de 8h y aireación intermitente, la concentración de fenol en el influente fue de 5 mg/L, observándose mayor estabilidad en las concentraciones a la salida las cuales no superan los 0,09 mg/L de fenol.

En la Figura 3 se presentan las diferentes concentraciones de nitrógeno a la entrada y salida del reactor para cada una de las etapas estu-

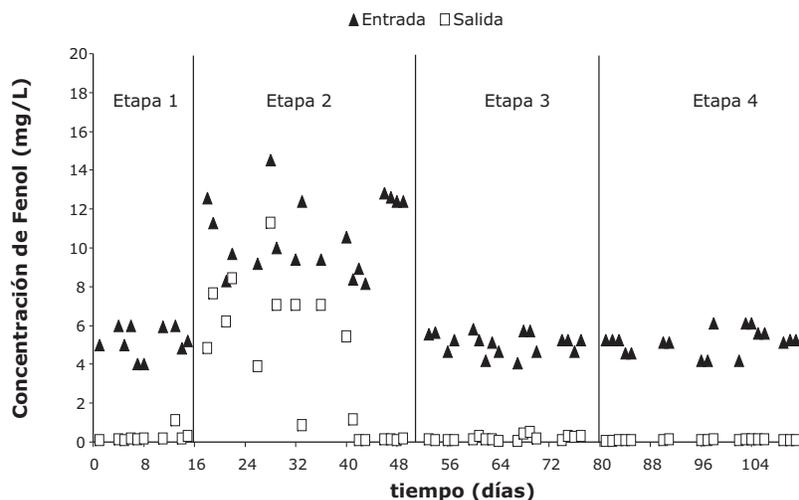


Figura 2. Evolución del Fenol a la entrada y salida del reactor en las diferentes etapas de operación.

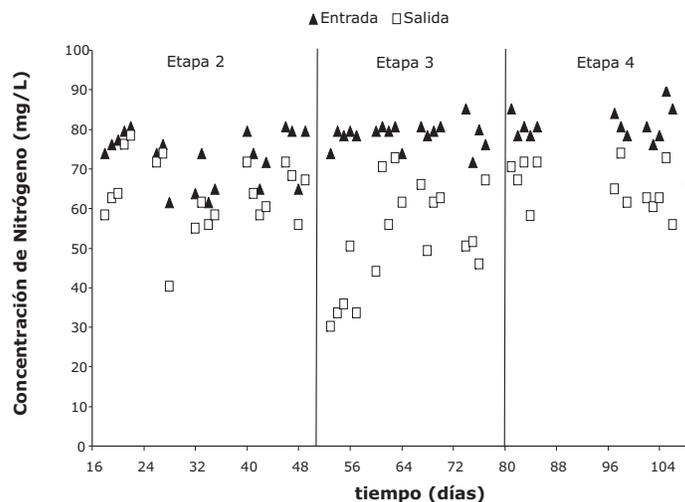


Figura 3. Evolución del Nitrógeno a la entrada y salida del reactor en las diferentes etapas de operación.

diadas. Se observa una alta dispersión en las concentraciones de nitrógeno, sin lograr con el transcurso del ensayo, condiciones estables, por lo que el proceso de nitrificación no fue completo para ninguno de los tiempos de retención hidráulico [2, 17]. En ninguna de las tres etapas se alcanzó una eliminación superior al 40%, lo cual pudiese atribuirse a que los organismos nitrificadores son susceptibles a una inmensa serie de inhibidores orgánicos e inorgánicos [18, 19].

Conclusiones

La incorporación de periodos anóxicos y una fase inactiva a los tiempos de ciclos como estrategia de operación favoreció la eliminación de materia orgánica medida como DQO y fenol, alcanzando valores de 83 y 96% respectivamente, para un TRH de 8 horas, aireación intermitente, 1 h de sedimentación y 0,5 h de fase inactiva.

El proceso de remoción de nitrógeno no fue completo en ninguna de las condiciones aplicadas en el reactor, obteniéndose una máxima remoción de nitrógeno de 34,6% con un tiempo de retención hidráulico, TRH, de 8 horas y una aireación intermitente. El proceso de nitrificación pudo verse afectado por la acción inhibidora que tiene el fenol y un pH menor a 6, en el desarrollo de las bacterias nitrificadoras.

El reactor mantuvo una relación SSV/SST entre un rango de 0,8 a 0,9 lo que evidencia una alta proporción de materia orgánica en el lodo, demostrando la presencia de una comunidad microbiana adaptada.

Referencias bibliográficas

1. Flapper T., Ashbolt N., Lee A. y Neil O.: "From the lab. to full scale SBR operation: treating high strength and variable industrial wastewaters". *Water Science and Technology*, Vol. 43, N° 3 (2001) 347-354.
2. Bernal A., González O. y González S.: "Factores operacionales que afectan a la eliminación biológica de fósforo y nitrógeno en un reactor discontinuo". Coordinación de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán, D.F., México (1997), 1-13.
3. Li J., Healy M., Zhan X. y Rodgers M.: "Nutrient Removal from slaughterhouse wastewater in an intermittently aerated sequencing batch reactor". *Bioresource Technology*, Vol. 99, N° 16 (2008) 7644-7650.
4. Marín J.: "Dinámica del Nitrógeno en la Interfase. Agua-Sedimento del Lago de Maracaibo". Tesis de Postgrado. Facultad de Ingeniería. División de Estudios para Graduados. Programa en Ciencias del Ambiente. Maracaibo, Venezuela, 2000.
5. Irving R. y Ketchum L.: "Sequencing batch reactors for biological wastewater treatment". *CRC Crit. Rev. Envir. Control*, Vol. 65, N° 12 (1989) 255-293.
6. Moussavi G., Barikbin B. y Mahmoudi M.: "The removal of high concentrations of phenol from saline wastewater using aerobic granular SBR". *Chemical Engineering Journal*, Vol. 158, N° 3. (2010) 498-504.
7. Rodríguez F. y Ferrara G.: "Efecto del tiempo de aireación sobre la sedimentabilidad del lodo producido por desnitrificación biológica en reactores por carga secuenciales". Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela (2000). 23-42.
8. Chin-Han C. y Poh-Eng L.: "Evaluation of sequencing batch reactor performance with aerated and unaerated fill periods in treating phenol-containing wastewater". *Bioresource Technology*, Vol. 98, N° 1 (2007) 1333-1338.
9. Artan N., Tasli R. y Orhon D.: "Rational basis for optimal design of sequencing batch reactors with multiple anoxic filling for nitrogen removal". *Process Biochemistry*. Vol. 41, N° 1 (2006) 901-908.
10. APHA-AWWA-WEF. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. Published by the American Public Health Association, The American Water Works Association and the Water Environment Federation. ISBN: 0-87553-235-7. 1998.
11. Environmental Protection Agency. Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales. Reactores Secuenciales Por Tandas. EPA

- 832-F-99-073. Office of Water Washington, D.C. United States. 1999.
12. Lemaire R., Meyer R., Taske A., Crocetti G., Keller K. y Yuan Z. "Identifying causes for N₂O accumulation in a lab-scales sequencing batch reactor performing simultaneous nitrification, denitrification and phosphorus removal". *Journal of Biotechnology*, Vol. 122, N° 1 (2006) 62-72.
 13. Metcalf y Eddy.: "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización". Ed. McGraw-Hill. España, 1998.
 14. Zhang Z., Zhu J., King, J. y Li, W.: "A two-step fed SBR for treating swine manure. *Process Biochemistry*". Vol. 41, N° 1 (2006) 892-900.
 15. Moreno, I. y Buitrón, G.: "Influence of the origin of the inoculum and the acclimation strategy on the degradation of 4-chlorophenol". *Bioresource Technology*, Vol. 94, N° 1 (2004) 215-218.
 16. Tomei M., Rossetti S. y Annesini, M.C.: "Microbial and kinetic characterization of pure and mixed cultures aerobically degrading 4-nitrophenol". *Chemosphere*, Vol. 63, N° 1 (2006) 1801-1808.
 17. Dosta J., Galy A., Benabdallah E., Mace S. y Mata-Alvarez J.: "Operation and model description of a sequencing batch reactor treating reject water for biological nitrogen removal via nitrite". *Bioresource Technology*, Vol. 98, N° 1 (2007) 2065-2075.
 18. Cervantes F., Pérez J., Gómez, J.: "Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales". *Revista Latinoamericana de Microbiología. Asociación Latinoamericana de Microbiología (ALAM)*. Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Iztapalapa, D.F. México. 2000.
 19. Garzón M.: "Mecanismos no-convencionales de transformación y remoción del nitrógeno en sistemas de tratamiento de aguas residuales". *Revista de Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. 20, N° 4 (2005) 137-149.

Recibido el 30 de Julio de 2009

En forma revisada el 17 de Mayo de 2010