SCIENTIA gerundensis, 25: 103-114 (2001)

ELIMINACIÓ BIOLÒGICA DE LA MATÈRIA ORGÀNICA I EL NITROGEN EN UN REACTOR DISCONTINU SEQÜENCIAL (SBR)

M. T. Vives,[1] M. D. Balaguer,[1] R. García[2] i J. Colprim[1].

[1]Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental (Lequia). Departament EQATA. Universitat de Girona. Campus de Montilivi, s/n. E-17071 Girona. (tel. +34972418281; fax +34972418150; a/e: teia@lequia1.udg.es)
[2]CIDA HIDROQUÍMICA, SA. Gran Via de les Corts Catalanes, 645. E-08010 Barcelona.

RESUM

Aquest treball se centra en l'estudi d'un reactor discontinu seqüencial (RDS o SBR) per eliminar biològicament la matèria orgànica i el nitrogen present a l'aigua residual urbana. S'han utilitzat sondes d'OD, pH i redox en línia per interpretar l'evolució de l'amoni, el nitrit i el nitrat, cosa que ha permès el seguiment de l'estat del reactor sense necessitat de realitzar analítiques prèviament.

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el estudio de un reactor discontinuo secuencial (RDS o SBR) para eliminar biológicamente materia orgánica y el nitrógeno presente en el agua residual urbana. Para ello se han utilizado sondas de OD, pH i redox en línea para interpretar la evolución del amonio, el nitrito y el nitrato, permitiendo de ese modo el seguimiento del estado del reactor sin necesidad de analizar previamente.

ABSTRACT

The sequencing batch reactor (SBR) process is known for its flexibility in meeting a wide range of treatment needs, including nutrient removal. This study was undertaken to examine the feasibility of treating biologically municipal wastewater for nitrogen removal, including nitrification and denitrification. The wastewater had a high concentration of ammonia. The relatively simple sensors that measured DO, pH and ORP were useful for monitoring and real-time control purposes. This information was used to identify the main biological activities, nitrification and denitrification. The complete ammonia removal corresponded exactly to the "Ammonia Valley" in the pH curves and the complete nitrate removal corresponded to the "Nitrate Knee" in ORP curves.

Keywords: SBR, sequencing batch reactor, nitrification, denitrification, nitrogen, monitoring.

INTRODUCCIÓ

L'abocament directe de l'aigua residual en un medi aquàtic provoca una sèrie d'efectes nocius per a la natura i per a la salut humana. La presència de matèria orgànica a l'aigua pot provocar mala olor (degradació anaeròbica) o una disminució

de l'oxigen present a l'aigua (degradació aeròbica, nitrificació). A més, si hi ha una concentració elevada de nutrients (en general, nitrogen i fòsfor), facilita el creixement de les plantes aquàtiques que pot acabar amb l'eutrofització del sistema i la conseqüent mortaldat de les plantes i els peixos. Per eliminar aquests riscs va sorgir la Directiva CE 91/271, on s'emfasitza la necessitat d'eliminar el nitrogen i el fòsfor de les aigües urbanes i d'alguns sectors industrials.
Una de les maneres més habituals d'eliminar la matèria orgànica i l'amoni present a l'aigua és biològicament, procés que s'ha realitzat des de sempre a la natura. Aquest procés dut a terme de manera controlada i amb les condicions ambientals idònies és el que es realitza en el tractament d'aigües residuals.
L'eliminació de la matèria orgànica (MO) es pot esquematitzar amb la següent reacció (Balaguer et al. 1998 i USEPA 1992):

$$\text{Matèria orgànica} + O_2 \xrightarrow{\text{heteròtrofs}} CO_2 + H_2O + \text{energia} \qquad (1)$$

Així doncs, la matèria orgànica és degradada pels bacteris heteròtrofs en presència d'oxigen per ser transformada en diòxid de carboni i aigua, alhora que es produeix el creixement dels bacteris, segons l'equació (1).
El nitrogen bàsicament es pot trobar en quatre formes a la natura: nitrogen en forma d'amoni, nitrogen orgànic i nitrogen en forma de nitrit o nitrat. La manera més habitual de trobar-lo a l'aigua no tractada és en forma d'amoni i nitrogen orgànic, però aquest últim s'hidrolitza ràpidament per donar amoni.
L'eliminació biològica del nitrogen es dóna a través de dos processos, la nitrificació i la desnitrificació. En la nitrificació l'amoni que es troba en el sistema és convertit en nitrat. Aquest procés consta de dues etapes (Balaguer et al. 1998 i USEPA 1992):

$$NH_4^+ + \frac{3}{2}O_2 \longrightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+ \qquad (2)$$

$$NO_2^- + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow NO_3^- \qquad (3)$$

En l'equació (2), l'amoni en presència d'oxigen i bacteris nitrificants passa a nitrit. En l'equació (3), en canvi, el nitrit format és transformat en nitrat. Els responsables de l'oxidació biològica de l'amoni són bacteris autòtrofs, que utilitzen com a font de carboni el CO_2.
Per tal d'eliminar els nitrats i convertir-los a nitrogen gas, calen condicions anòxiques (absència d'oxigen) i l'acció de bacteris heteròtrofs, els quals utilitzen com a font de carboni la matèria orgànica; per tant és necessària la presència d'aquesta matèria perquè es doni la reacció de desnitrificació, segons l'equació (4) (Balaguer et al. 1998 i USEPA 1992):

$$NO_3^- + \text{matèria orgànica} \xrightarrow{\text{heteròtrofs}} N_2 + CO_2 + H_2O + OH^- \qquad (4)$$

Aquestes reaccions són les que es produeixen en una estació depuradora d'aigües residuals (EDAR). El procés de tractament biològic de les aigües residuals més usat és l'anomenat sistema de fangs actius. Consisteix en una oxidació bacteriana del residu orgànic, o matèria orgànica, treballant a una concentració elevada de biomassa, seguit d'una separació entre els sòlids en suspensió i l'aigua tractada, en el decantador.

La manera més habitual d'operar és mitjançant un tractament convencional de fangs actius (figura 1). Consta d'un reactor biològic que rep l'influent i és on es produeixen les reaccions abans descrites, i d'un decantador que serveix per separar la biomassa de l'aigua ja tractada. Per tal de mantenir la concentració de biomassa dins del bioreactor, cal recircular una part dels fangs separats en el decantador cap al reactor biològic per tal de mantenir la concentració de biomassa. Amb la finalitat de mantenir una concentració de biomassa constant al reactor, s'efectuen purgues periòdiques del sistema. Aquestes se solen realitzar des del canal de recirculació, encara que també es podrien fer des del mateix reactor.

D'altra banda, en el sistema de fangs actius continus, existeix la possibilitat de treballar en discontinu, és a dir, per càrregues. Aquest sistema és conegut com a reactor discontinu seqüencial (RDS) o *Sequencing Batch Reactor* (SBR) en anglès. S'utilitza el mateix tanc per a la fase de reacció, i la sedimentació, a diferència de les plantes convencionals de flux continu, necessita més d'un tanc (Nolasco et al. 1998). Un SBR, pel fet de ser un reactor que treballa en discontinu, funciona per cicles que es repeteixen al llarg del temps. Cada cicle constarà almenys de les etapes de: ompliment, reacció, sedimentació, buidatge i repòs (figura 2).

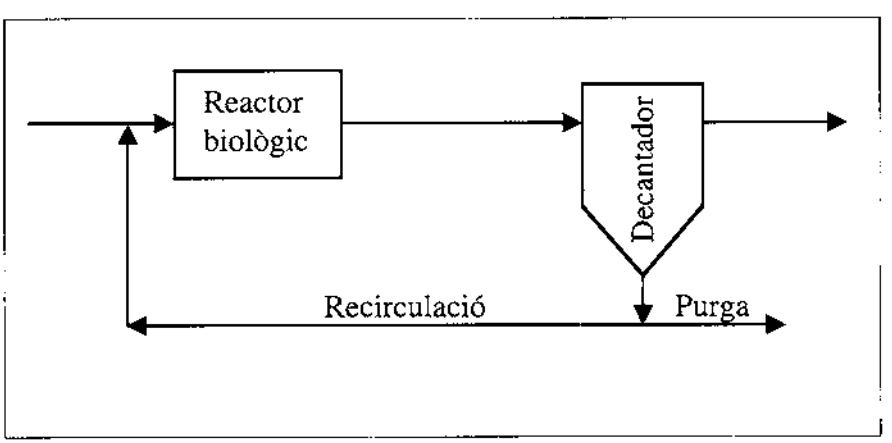

Figura 1. Tractament convencional de fangs actius.

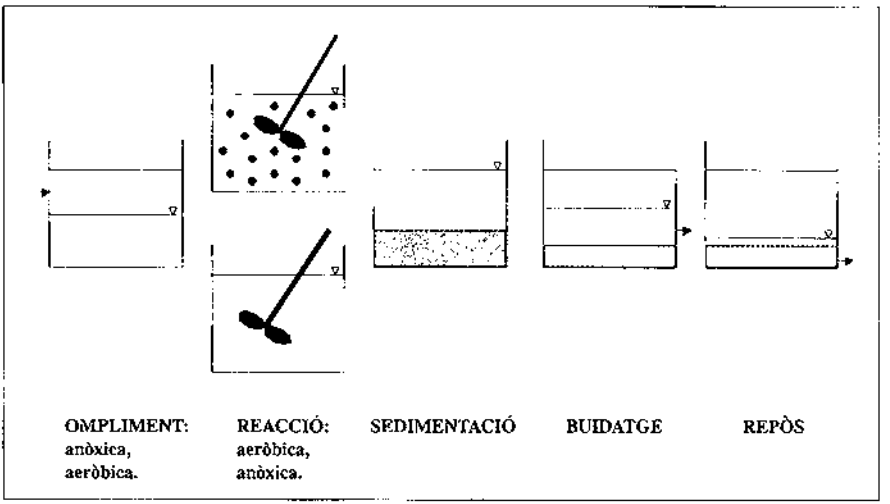

Figura 2. Etapes típiques d'un SBR.

Ompliment: s'introdueix l'aigua residual que s'ha de tractar i es barreja amb els fangs ja existents al tanc. Aquesta etapa pot ser anòxica o aeròbica, depenent del tractament que es vulgui realitzar.
Reacció: etapa en la qual es donen les diferents reaccions, ja comentades, com a conseqüència de l'activitat dels microorganismes. Es poden alternar diferents condicions ambientals per assolir els objectius proposats. Així doncs, en condicions aeròbiques es produeix l'eliminació de la matèria orgànica i la nitrificació, mentre que en condicions anòxiques es produeix la desnitrificació, sempre que hi hagi matèria orgànica biodegradable disponible.
Sedimentació: etapa on el sistema es manté en repòs complet i se separen els fangs de l'aigua clarificada, mitjançant la sedimentació.
Buidatge: descàrrega de l'efluent tractat.
Repòs: etapa de repòs per ajustar el temps dels cicles entre reactors. La purga, per mantenir la població de biomassa constant, se sol realitzar en aquesta etapa.
Tot i que l'esquema de funcionament d'un SBR es pot considerar senzill, mantenir les condicions escaients per assolir la completa eliminació del nitrogen, via nitrificació i desnitrificació biològica, simultàniament amb la degradació de la matèria orgànica, no és una tasca fàcil. La naturalesa dinàmica del procés de depuració, amb variacions fins i tot horàries en la quantitat i qualitat de l'aigua que s'ha de depurar, implica un ajust dinàmic de les condicions d'operació del sistema. És per això que el fet de disposar d'una sèrie de sensors en línia pot permetre identificar quin és l'estat actual del reactor i/o de l'aigua residual que s'ha de depurar.
Els paràmetres que amb més facilitat es poden obtenir en línia correspondrien a l'oxigen dissolt (OD), el pH i el potencial d'oxidació-reducció (redox). Es podrien

utilitzar altres tipus de sensors que permetrien obtenir altres paràmetres en línia com ara les concentracions d'amoni, nitrats, nitrits (mètodes *flow injection analysis*, FIA, o *continous injection analysis*, CIA), o l'activitat (respirometria); però aquests són costosos d'adquisició, operació i manteniment, a més que són extremadament delicats. Així doncs, l'OD, el pH i el redox en línia faciliten una informació que ajuda a interpretar la situació actual del reactor i la seva tendència.

Oxigen dissolt

L'evolució de la concentració d'oxigen dissolt en el reactor ens indica l'activitat dels microorganismes aeròbics. Aquests microorganismes consumeixen l'oxigen dissolt present a l'aigua per degradar la matèria orgànica, microorganismes heterotròfics (equació (1)) i per nitrificar, microorganismes autotròfics (equacions (2) i (3)). Així doncs, la concentració d'OD en el reactor està en funció de la quantitat d'oxigen aportat i de l'activitat de la biomassa.
Si les concentracions d'OD en el reactor són baixes (<1 ppm) es produeix una competència per l'OD entre els microorganismes heteròtrofs i els autòtrofs. Com que la cinètica dels primers és més ràpida, primer té lloc la degradació de la matèria orgànica, seguida de la nitrificació (Balaguer et al. 1998).
En la figura 3b, es presenta l'esquema d'un perfil d'oxigen en un SBR amb aportació constant d'OD i una sola alimentació, on s'elimina matèria orgànica i nitrogen (nitrificació). Es pot veure que, inicialment, la concentració d'oxigen dissolt es

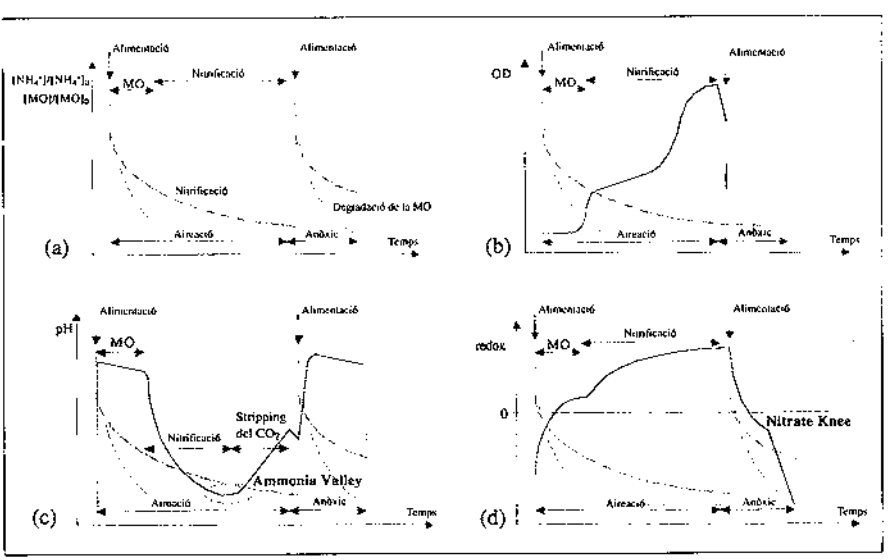

Figura 3. (a) Representació de l'evolució de la matèria orgànica i l'amoni en funció del temps d'un cicle. (b) Representació de l'OD en funció del temps d'un cicle. (c) Representació del pH en funció del temps d'un cicle. (d) Representació del redox en funció del temps d'un cicle.

manté en valors baixos, ja que l'oxigen aportat és majoritàriament consumit per degradar la matèria orgànica. Quan l'OD augmenta indica que la concentració de matèria orgànica ha disminuït significativament i la transformació de l'amoni en nitrat (nitrificació, equacions (2) i (3)) és la major responsable del consum d'oxigen. Com que existeix una competència per l'OD entre els dos tipus de bacteris, no s'obté una eliminació simultània de la matèria orgànica i l'amoni, sinó consecutiva. Quan l'OD augmenta bruscament cap a valors més alts, indica que l'oxigen aportat al sistema no és utilitzat, per la qual cosa s'acumula fins a arribar a valors propers a la saturació.

pH

Els principals processos que provoquen un canvi en l'equilibri dels protons, per tant en el pH dins del SBR, es poden definir en: processos físics, processos químics i processos biològics.

Processos físics: l'aportació d'aire per tal de mantenir la degradació biològica provoca l'arrossegament del CO_2 del medi o *stripping* del CO_2. L'eliminació del CO_2 fa desplaçar l'equilibri que s'indica en les equacions (5) i (6), fent augmentar el pH.

$$\uparrow CO_{2(g)} \Leftrightarrow CO_{2(l)} + H_2O \Leftrightarrow H_2CO_3 \Leftrightarrow HCO_3^- + H^+ \qquad (5)$$

$$HCO_3^- \Leftrightarrow CO_3^{2-} + H^+ \qquad (6)$$

Processos químics: la presència de substàncies tamponants (carbonats, bicarbonats, fosfats, etc.) a l'aigua residual poden limitar les variacions produïdes per altres reaccions.

Processos biològics: en condicions acròbiques, es dóna la reacció de nitrificació (equacions (2) i (3)), la qual provoca una davallada del pH.

En canvi, en condicions anòxiques es dóna la desnitrificació (equació (4)), en la qual existeix una producció d'ions hidroxil amb el conseqüent augment del pH.

A la figura 3c, es presenta un esquema d'un perfil de pH en un SBR on s'alternen condicions anòxiques i condicions aeròbiques, per aconseguir globalment l'eliminació de matèria orgànica i nitrogen. A l'inici, en condicions anòxiques i un cop s'ha alimentat, el pH disminueix lleugerament, per la reacció de degradació de la matèria orgànica. Posteriorment s'observa com el pH experimenta una brusca disminució; això és degut a l'activitat nitrificant dels microorganismes autòtrofs. Aquesta disminució del pH arriba a un mínim i es manté constant; aquest punt es coneix com a *ammonia valley* (Paul et al. 1998, Chang and Hang 1996) i indica que la major part de l'amoni ja ha estat nitrificat, és a dir, és inferior a 0,5 ppm. A continuació, i com que ja no queda ni matèria orgànica ni amoni, el procés més important és l'*stripping* del CO_2, i per tant s'observa un lleuger augment del pH. En la fase anòxica el pH es manté constant, ja que no hi ha matèria orgànica disponible per desnitrificar. Un

cop comença l'alimentació en condicions anòxiques, el pH va augmentant progressivament, ja que es troba un doble efecte combinat. D'una banda té lloc la transformació del nitrat en nitrogen gas, desnitrificació, i de l'altra l'aportació de l'aliment amb una aportació d'alcalinitat.

Redox

Molts dels processos que constitueixen el tractament de les aigües residuals són deguts a reaccions redox que són catalitzades per microorganismes, com són les reaccions que dóna el nitrogen. L'oxidació de l'amoni a nitrit, i després a nitrat (equacions (2) i (3)), i la reducció del nitrat a nitrogen gas (equació (4)), són exemples que es donen habitualment en els reactors biològics.
Normalment, els microorganismes utilitzen com a acceptor final d'electrons l'oxigen, sempre que s'estigui en condicions aeròbiques (respiració aeròbica). Quan aquests microorganismes es troben en absència d'oxigen, l'acceptor final de la cadena de transport electrònic pot ser el nitrat, sulfat, ferro..., i es parla de respiració anaeròbica.
A partir de la informació del redox es poden identificar l'aparició de la nitrificació, la de la desnitrificació i la detecció de l'esgotament dels nitrats, que es donen per tres zones ben diferenciades:
Redox positiu: quan el potencial redox és superior a zero, és a dir, en condicions aeròbiques, l'acceptor final d'electrons és l'oxigen, que es transforma en H_2O. En aquesta zona es dóna la nitrificació.
Redox negatiu: fins a valors de –200 mV. En aquesta zona hi ha absència d'oxigen i l'acceptor final d'electrons és el nitrat, que es transforma en nitrogen gas, és a dir, es troba la desnitrificació.
Redox negatiu: a partir de valors de –200 mV. Un cop s'ha acabat el nitrat del sistema, aquest deixa de ser l'acceptor d'electrons, passen a ser-ho altres substàncies i el redox es dispara a valors més negatius. Això és indicatiu de la fi de la desnitrificació, *nitrate knee*.
A la figura 3d, es presenta un perfil característic de redox en un sistema on s'elimina matèria orgànica i nitrogen (nitrificació i desnitrificació). En la fase d'aireig posterior a l'alimentació, el redox té tendència a augmentar, ja que s'està aportant oxigen. Un cop s'ha eliminat, la matèria orgànica fàcilment biodegradable comença a augmentar ràpidament fins a estabilitzar-se acabada la nitrificació. Quan comença l'alimentació en condicions anòxiques, el redox disminueix progressivament, ja que s'inicia la desnitrificació. Si la desnitrificació és completa, es troba el *nitrate knee* (Paul et al. 1998, Chang and Hang 1996), punt on el redox canviaria de pendent, però continuant la seva tendència descendent. És a dir, un cop tot el nitrat present a l'aigua ha passat a nitrogen gas, es produeix un canvi d'acceptor d'electrons, i això provoca una important davallada del potencial redox.
Així doncs, en aquest estudi es va proposar l'eliminació de la matèria orgànica i el nitrogen present en una aigua residual urbana i la comprovació de com les sondes d'OD, pH i redox en línia permeten fer el seguiment dels paràmetres més significatius de l'interior del reactor, sense necessitat de fer-ne una analítica prèvia.

MATERIALS I MÈTODES

Instal·lació experimental

La instal·lació experimental en la qual es va dur a terme tot l'estudi (figura 4) consta d'un reactor de vidre cilíndric que acaba amb una forma cònica per tal de facilitar-ne la sedimentació. Aquest té un volum màxim aproximat de 40 litres i el volum de treball utilitzat ha estat de 30 litres, mantenint el volum mínim en 20 litres. La biomassa es manté en suspensió mitjançant agitació mecànica amb una hèlix marina. L'aeració es realitza a través d'un tub difusor col·locat a la part inferior del reactor i connectat a un compressor. L'alimentació, buidatge i purga es realitzen amb tres bombes peristàltiques diferents.

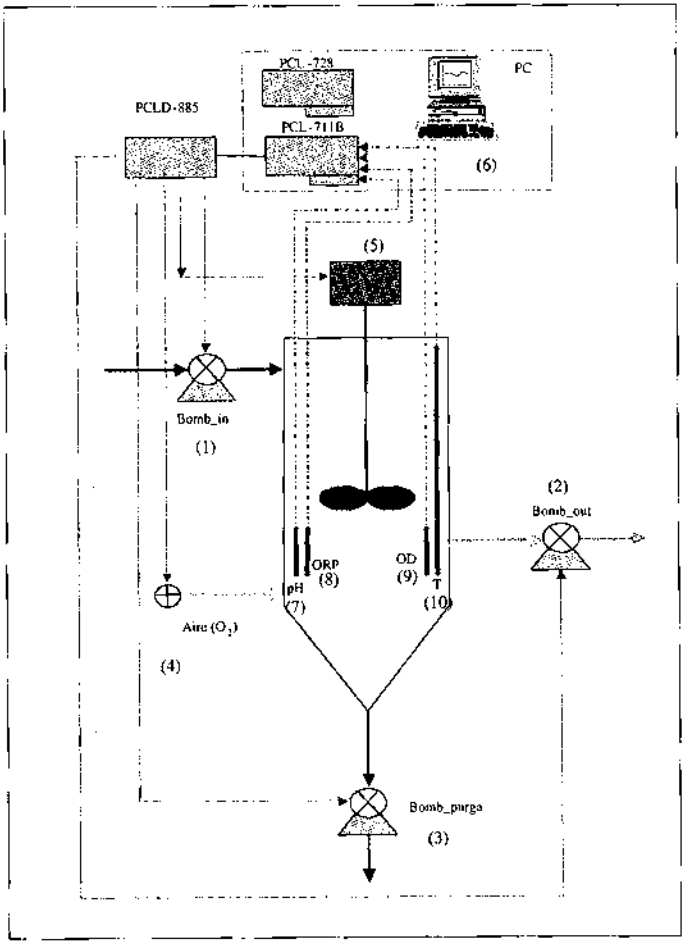

Figura 4. *A l'esquerra, esquema de la planta pilot: (1) bomba d'entrada, (2) bomba de sortida, (3) bomba de purga, (4) sistema d'aeració, (5) agitador, (6) ordinador i plaques PCL, (7) sonda de pH, (8) sonda de redox, (9) sonda d'oxigen dissolt i (10) sonda de temperatura*

A l'interior del reactor es troben col·locades, amb un sistema de flotació, quatre sondes: temperatura, pH, redox i OD, connectades a un ordinador. Aquestes sondes permeten la monitorització de manera que es pot veure l'evolució d'aquests paràmetres en línia. Mitjançant un programa informàtic i les plaques de relés, es poden fixar totes les condicions del cicle, l'aireig, l'agitació o les bombes així com el temps de durada en cada cicle. També permet fixar un *set point* d'oxigen determinat, de manera que l'oxigen mai no supera el valor prefixat. Amb tot això el que s'aconsegueix és automatitzar la planta.

Metodologia analítica

La metodologia analítica utilitzada per a la determinació dels sòlids totals (ST) i volàtils (STV), sòlids en suspensió totals (SST) i volàtils (SSV), de la demanda química d'oxigen (DQO), de l'amoni ($N\text{-}NH_4^+$), els nitrats i nitrits ($N\text{-}NO_3^-$ i $N\text{-}NO_2^-$), del nitrogen orgànic (TKN), que s'han dut a terme durant aquest estudi, es troba recollida a *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al. 1992).

RESULTATS

Per poder nitrificar i desnitrificar es proposa alternar condicions aeròbiques i anòxiques, realitzant alimentacions múltiples en un mateix cicle en condicions anòxiques. D'aquesta manera es disposa de matèria orgànica en la fase anòxica per poder desnitrificar.

Sempre que es finalitzi un cicle amb una etapa aeròbica, el corrent de sortida tindrà una concentració de nitrats residual, del mateix ordre que l'amoni entrat en l'última addició d'aliment. Si en canvi s'acaba amb una etapa anòxica, es tindrà l'amoni que no s'ha nitrificat. Per tant, sempre s'obtindrà un producte residual. Així doncs, es tracta d'intentar acabar amb una baixa concentració de producte residual, per la qual cosa l'alimentació múltiple en el mateix cicle permet disminuir els nitrats de sortida.

Amb aquesta finalitat els 10 litres/cicle es van repartir amb sis alimentacions de 1,66 l/alimentació, en un cicle d'una durada de 8 hores. Com que la concentració de matèria orgànica d'entrada mitjana era de 600 ppm i el TKN de 70 ppm, es va treballar amb una càrrega màssica de 0,29 mg DQO mg^{-1} SS d^{-1}.

Treballant amb les condicions ja esmentades, es va assolir una eliminació d'amoni del 98,7%. A la sortida es trobava de l'ordre de 2 ppm de $N\text{-}NH_4^+$ i de 6 ppm de $N\text{-}NO_3^-$ i els nitrits es trobaven molt per sota del límit de detecció, amb la qual cosa, doncs, s'aconseguia una desnitrificació del 96% i una eliminació de nitrogen màxima del 93%. L'eliminació de matèria orgànica es mantenia de l'ordre del 94%.

A la figura 5, es mostra l'evolució de l'OD, pH i RedOx característica d'un cicle de 8 hores amb les sis alimentacions; aquests són els mateixos que s'han explicat a la

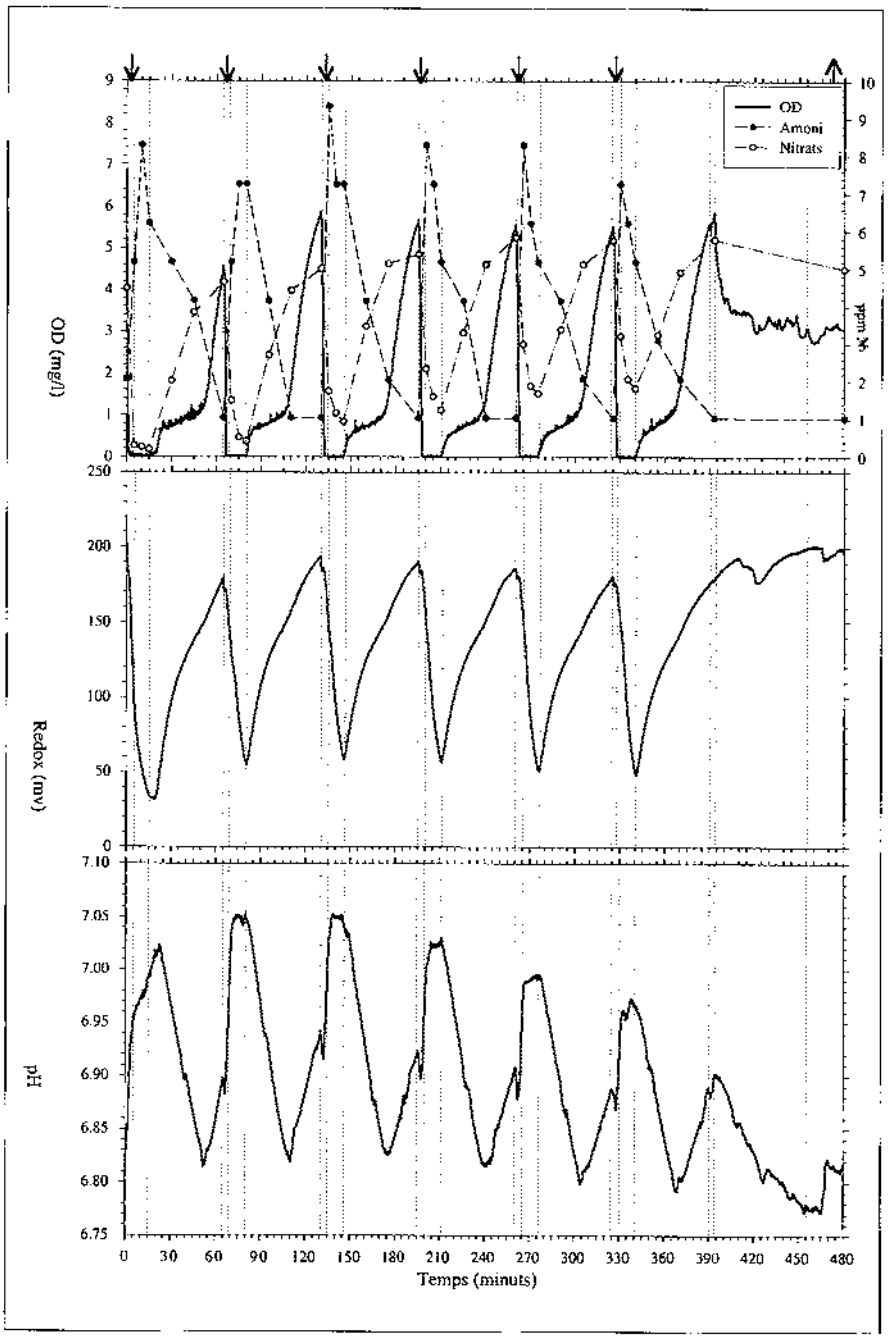

Figura 5. Evolució de l'OD, pH i redox.

introducció, però que es repeteixen al llarg del temps, ja que en aquest cas existeixen múltiples alimentacions. Cal ressaltar l'aparició de l'*amonia valley*.

A la mateixa figura 5, també es mostra l'evolució dels compostos nitrogenats a l'interior del reactor durant un cicle conjuntament amb l'OD. Inicialment es pot observar que l'amoni augmenta durant els cinc minuts corresponents a l'etapa d'ompliment en condicions anòxiques i agitació, arribant a un màxim de 8,5 ppm a l'interior (per efecte de la dilució). Després de l'alimentació, segueix una etapa anòxica on el nitrat procedent del cicle anterior és eliminat, a causa de l'entrada també de matèria orgànica i de les condicions anòxiques; en canvi, la concentració d'amoni es manté constant, ja que no hi ha oxigen per poder nitrificar. Quan comença l'etapa d'aireig, en el minut 20, l'amoni comença a disminuir lleugerament, ja que també l'oxigen dissolt és consumit per eliminar la matèria orgànica, fins que l'oxigen comença a augmentar. En aquest punt s'inicia una disminució més important de l'amoni, albora que es veu un lleuger augment de nitrits per donar els nitrats que es comporten de manera inversa a l'amoni. Quan hi ha una concentració d'uns 2 ppm de N en forma d'amoni en el si del reactor, torna a augmentar l'oxigen dissolt, ja que gairebé ja s'ha consumit tot l'amoni i l'oxigen queda disponible. Aquest mínim de pH és l'*ammonia valley*, ja descrit a la introducció. En el minut 65, es deixa d'aportar oxigen i es comença la segona alimentació en condicions anòxiques, que anirà seguida de l'etapa anòxica i la següent etapa aeròbica. Això es repeteix fins a quatre cops més, fins a completar les sis alimentacions. Cal destacar que en cada alimentació la concentració d'amoni assoleix valors més baixos, ja que l'efecte de dilució és més important. Finalment se surt a uns 5 ppm N en forma de nitrat i per sota d'1 ppm N en forma d'amoni.

CONCLUSIONS

S'ha comprovat que mitjançant un reactor SBR s'aconsegueix eliminar nitrogen (nitrificar i desnitrificar) en el mateix reactor, sense aportació suplementària de matèria orgànica, per una aigua residual urbana. Per aconseguir-ho és necessari distribuir l'aliment i alternar les etapes anòxiques i aeròbies.
També s'ha vist que a partir de les dades proporcionades per les sondes d'OD, pH i redox en línia es podia interpretar sense necessitats d'analítiques l'evolució de l'amoni, els nitrits i els nitrats de dins del reactor.

AGRAÏMENTS

Aquest treball ha estat finançat a través d'un conveni de col·laboració científica entre la Universitat de Girona i CIDA HIDROQUÍMICA, SA.

Bibliografia

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18a ed., Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. & Eaton, A.D Washington D.C.

BALAGUER, M. D., COLPRIM, J., MARTIN, M., POCH, M. & RODRIGUEZ-RODA, I. 1998. *Tractament biològic d'aigües residuals urbanes*. Dins: Programa de Doctorat Tecnologies del Medi Ambient, Monografia núm. 1. Universitat de Girona. Girona.

CHANG, C. H. I HAO, O. J. 1996. Sequencing batch reactor system for nutrient removal:ORP and pH profiles. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 67: 27-38.

NOLASCO, D., IRVINE, D., MANOHARAN, M. 1998. *Evaluation and Optimization of Design/Operation of Sequencing Batch Reactors for Wastewater Treatment*. http://www.hydromantis.com/files/pub/pdf/sbr_final_rpt.pdf.

PAUL, E., PLISSON-SAUNE, S., MAURET, M., CANTET, J. 1998. Process state evaluation of alternating oxic-anoxic activated sludge using ORP, pH and DO. *Water Science and Technology*. 38 (3): 299-306.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1992. *Sequencing Batch Reactor for Nitrification and Nutrient Removal*. Office of Water Enforcement and Compliance, Washington D.C.