



II-041 – REDUÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA MICROBIANA EM PROCESSO DE LODO ATIVADO UTILIZANDO DESACOPLADOR METABÓLICO 3,3,4,5 – TETRACLOROSALICINAMIDA (TCS)

Alexandre Nunes ponezi⁽¹⁾

Bacharelado em Ciências Biológicas, UNIARARAS. Mestre em Engenharia de Alimentos FEA/UNICAMP; Doutorado em Engenharia Civil – Departamento de Saneamento e Ambiente FEC/UNICAMP.

Fabiano Salati⁽¹⁾

Graduação em Engenharia Ambiental – UNIPINHAL, 2007

Karen Cristina Marques Simoni⁽¹⁾

Graduação em Ciências Biológicas, PUCC Campinas, 1999

Valéria marques de Oliveira⁽¹⁾

Graduação em Ciências Biológicas, IB/UNICAMP, 1988; Mestrado em Genética e Biologia Molecular IB/UNICAMP, 1993; Doutorado em em Genética e Biologia Molecular IB/UNICAMP, 1998.

Endereço⁽¹⁾: Rua Alexandre Caselatto, 999- Vila Betel – Paulínia - SP - CEP: 13140-000 - Brasil - Tel: (1) 2139 – 2872 e-mail: ponezi@cpqba.unicamp.br

RESUMO

A remoção de matéria orgânica através da oxidação biológica é uma tecnologia bastante conhecida no processo de tratamento de águas residuárias. Novas células (lodo), gás carbônico, produtos microbianos solúveis e água são os produtos resultantes do processo. A produção de excesso de lodo é estimada atualmente ao redor de 15-100 Kg./L⁻¹ DBO, onde mais de 95% de sua composição é água. Com a expansão da população e aumento das estações de tratamento de esgoto a produção de lodo aumentou, gerando um real desafio no campo da tecnologia de engenharia ambiental. As atuais regulamentações de segurança quanto à aplicação destes resíduos como biosólidos em campos agrícolas limita sua disposição em aterros sanitários ou disposições indevidas. Atualmente, o tratamento do lodo excedente pode responder por 25 - 65% do custo de operação total de uma planta gerando um desperdício secundário. Estratégias para minimização da produção do excesso de lodo estão se tomando um assunto bastante urgente, sendo necessário revisar as técnicas que possam ser aplicadas em plantas municipais para reduzir a produção de lodo do processo de lodo ativado, uma vez que este tipo de tratamento é o mais utilizado em todo o mundo. A utilização do 3,3,4,5-tetraclorosalicilamida (TCS) como um desacoplador metabólico para redução do crescimento microbiano em processo piloto de lodo ativado foi avaliada. Os resultados mostram que concentrações de TCS superiores a 32 mg/L aplicados em reatores de fluxo intermitente e contínuo apresentaram problemas de desagregação dos flocos e má decantabilidade do lodo. Baixas concentrações de TCS (0,2 e 0,4 mg/L) não causaram reduções significativas na produção de lodo quando comparado ao controle. Os resultados mostraram que a melhor concentração de TCS aplicada nos reatores de fluxo intermitente foi de 16 mg/L como uma redução de SSV de 37%, IVL de 73% e UFC de 55%, e que para os reatores operados em regime de fluxo contínuo esta concentração foi de 32 mg/L com reduções de SSV de 55%, IVL de 63% e UFC de 58%.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo Ativado, 3,3,4,5-tetraclorosalicilamida (TCS), redução de lodo, metabolismo microbiano, PRC-DGGE.

INTRODUÇÃO

Processos de lodos ativados são amplamente utilizados no tratamento de águas residuárias municipais ou industriais gerando como subproduto uma grande quantidade de lodo. O tratamento e disposição do lodo excedente podem responder a 25 - 65% do custo de operação total de uma planta gerando um desperdício secundário (HORAN 1990). Para resolver este problema, uma solução ideal seria a minimização da produção de lodo em processos de lodo ativados. Vários trabalhos podem ser observados na literatura científica objetivando a redução do lodo em processos de tratamento de águas residuárias industriais e municipais. Uma técnica bastante promissora a qual é objeto deste estudo na redução do crescimento microbiano em sistemas de lodos ativados é a utilização de substâncias químicas que atuam na fosforilização oxidativa das células. Para limitar o crescimento de lodo, CHEN ^[2], propôs a utilização de desacopladores metabólicos para reduzir produção de excesso lodo.



Determinadas substâncias químicas permitem que o transporte de elétrons na mitocôndria ocorra, mas impede a fosforilação do ADP a ATP, interrompendo a ligação essencial entre o transporte de elétrons e a síntese de ATP. Estas substâncias são conhecidas como inóforos como 2,4-dinitrofenol (DNP), para-nitrofenol (pNP), pentaclorofenol e 3,3', 4',5 - tetraclorosalicilânida (TCS). Na presença de inóforos orgânicos, a maior parte do substrato orgânico será oxidada a gás carbônico ao invés de ser utilizada na biossíntese de novas células. Como resultado, o crescimento é diminuído e a produção de lodo reduzida.

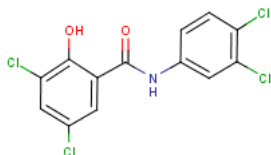
De modo a acompanhar o efeito do TCS na dinâmica da população do lodo ativado foi utilizada a técnica de PCR analisados em DGGE para o acompanhamento de grupos específicos de bactérias dentro de uma comunidade bacteriana complexa. A qual provê uma valiosa ferramenta para monitorar a estrutura e dinâmica de populações microbianas submetidas a mudanças ambientais.

O objetivo deste estudo é investigar a aplicação do TCS em diferentes concentrações na redução da produção de excesso de lodo em dois sistemas de lodo ativado contínuo e batelada e avaliar o efeito do TCS nas características da população microbiana do lodo através de técnicas clássicas e moleculares.

MATERIAIS E MÉTODOS

Identificação e características físico-químicas do TCS

Estrutura química



Número de registro: CAS 1154-59-2, **Classificação:** Agrotóxico, inibidor enzimático, fungicida, bactericida, **Fórmula molar:** C₁₃H₇Cl₄N-O₂

Propriedades físico-químicas.	
Parâmetro	Valor
Ponto de ebulição	161 °C
Log P	5.870
Constante de Henry	4,82E-011 atm·m ³ /mole
Solubilidade em água	3,3296 mg/L
Constante atmosférica	2.97E-12 cm ³ /molécula·seg.

Processos de lodos ativados

Neste trabalho foi avaliado a atividade do TCS em dois processos de lodos ativados: fluxo contínuo (convencional) e fluxo intermitente.

Descrição e Montagem da Unidade Piloto

Fluxo intermitente: Os dois reatores instalados nas dependências da Divisão de Microbiologia do CPQBA/UNICAMP foram fabricados em acrílico, apresentando tamanho e formas idênticas. Cada reator possui capacidade para tratar 10,0 L de efluente por batelada, mais 2,0 L de lodo que permanece no reator para a partida em cada ciclo, totalizando um volume útil de 12,0 L com uma relação volume de efluente sob volume de lodo de 10:2.

Para se fazer à drenagem do efluente tratado e manutenção do nível de lodo para a realização do ciclo posterior, cada reator apresenta dois orifícios, sendo um na parte lateral e outro no fundo. No orifício do fundo foi adaptada uma rolha contendo duas tubulações, uma para descarte do lodo e outra para aplicação de ar



comprimido. Para se obter uma distribuição uniforme do ar no reator, sua aplicação foi feita através de um sistema difusor composto por pedra porosa, do tipo comercial, normalmente utilizado em aquários.

O resíduo a ser tratado será agitado permanentemente em recipiente com capacidade para 20 L, por meio de agitador constituído por motor, eixo e hélice, sendo então bombeado durante o período de enchimento para a parte superior dos reatores através de bomba peristáltica. O esquema de montagem dos reatores pode ser observado na Figura 1

Fluxo contínuo: Os dois reatores a serem construídos nas dependências da Divisão de Microbiologia do CPQBA/UNICAMP serão fabricados em acrílico, apresentando tamanho e formas idênticas conforme esquema apresentado na Figura 2. Cada reator terá a capacidade para tratar 10,0 L de efluente e o decantador secundário terá a capacidade de sedimentar 2,0 L de lodo que foram bombeados uma parte para a linha de recirculação de lodo no reator e outra para o descarte de lodo. Para ocorrer uma melhor sedimentabilidade do lodo no decantador secundário estes foram projetados de modo a possuírem uma pequena área transversal em relação à altura, com o fundo em forma de tronco de pirâmide invertido.

Para se fazer à recirculação de lodo, alimentação dos reatores e aeração, cada reator apresenta dois orifícios, sendo um na parte lateral e outro no fundo. No orifício do fundo foi adaptado uma rolha para aplicação de ar comprimido e outro orifício na parte lateral onde foi feita a recirculação de lodo e alimentação dos reatores.

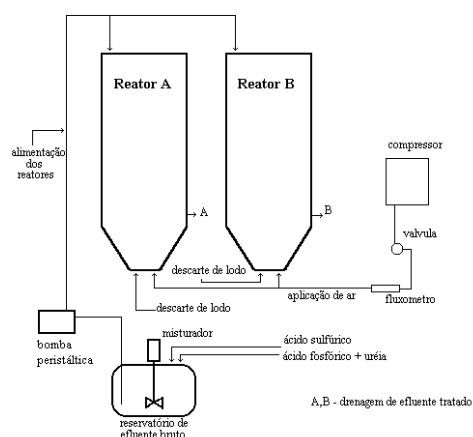


Figura 1 - Esquema de montagem dos reatores fluxo intermitente.

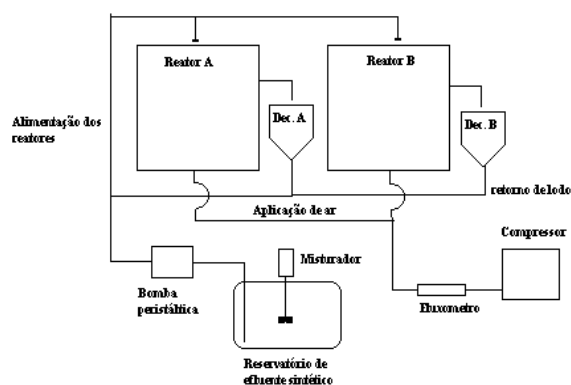


Figura 2 - Esquema de montagem dos reatores de lodo ativado convencional (fluxo contínuo).



Operação do Sistema

A operação dos reatores de fluxo intermitente foi realizada com idade do lodo representando um sistema convencional com θ_c 5 dias obedecendo a um ciclo diário de 12 h em etapas. Os reatores de fluxo contínuo foram operados em ciclo de 12 horas. Foi utilizado como padrão um reator de cada sistema. A concentração inicial de sólidos suspensos voláteis nos reatores (SSV) foi de 2.500 mg/L. A concentração de oxigênio dissolvido (OD) aplicada nos reatores foi de 4mg/L, e o pH foi mantido próximo a 7,0. A avaliação do desempenho dos reatores foi avaliada quanto à remoção de DQO.

O lodo ativado utilizado para o início das operações dos reatores foi coletado em uma estação de tratamento de esgoto municipal ETE-Samambáia (fluxo contínuo) e ETE- Santa Rosa (fluxo intermitente) localizadas na Região Metropolitana de Campinas (RMC). Neste trabalho foi utilizada água residuária sintética (550 mg/L DQO) Tabela 1 elaborada conforme proposto por FEN & YING (2005).

Tabela 1 - Componentes e concentração da água residuária sintética.

Componente	Concentração mg/L
Amido	268
Glucose	200
Peptona	132
Extrato de levedura	68
Uréia	8
NaHCO ₃	80
MgSO ₄	66
CaCl ₂	6
KH ₂ PO ₄	48,8
(NH ₄) ₂ SO ₄	112
FeSO ₄	0,3
MnSO ₄	6

Aplicação de TCS

O TCS foi aplicado nos reatores nas concentrações de 0,2 a 128mg/L (0,2; 0,4, 0,8, 16; 32; 64; 128) e foi avaliado o seu efeito na redução da produção de lodo dos sistemas.

Procedimentos analíticos

Os procedimentos analíticos realizados para o acompanhamento da influência do TCS no desempenho dos reatores foram: determinação da DQO método 5220 D, IVL método 2710 D, Série de sólidos métodos 2540 A, B, C, D, E, pH, temperatura método 2550 B e determinação de oxigênio dissolvido segundo metodologia proposta por Standard Methods for examination of water & wastewater 21st edition, 2005.

Estudo da população microbiana do lodo.

As avaliações do comportamento da população microbiana do lodo durante a realização dos experimentos foram realizadas através de técnicas clássicas de cultivo microbiano (VAZOLLER, 1989), e técnicas moleculares de análise de comunidade microbiana através da técnica de PCR-DGGE (HIRAISHI *et al* 2000), realizada na Divisão de Recursos Microbianos do CPQBA/UNICAMP, onde foram utilizados primers (16S rRNA) com características gerais para o grupo de bactérias do lodo.

Avaliação microscópica do lodo durante o período experimental.

A avaliação do comportamento do lodo ativado foi observado através de quanto às suas características, tanto nos reatores de fluxo intermitente como de fluxo contínuo.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação microscópica do lodo durante o período experimental.

A avaliação do comportamento do lodo ativado observado através de microscopia quanto às suas características, nos reatores pilotos mostraram similaridade. O lodo inicial utilizado a cada partida dos reatores para cada concentração de TCS utilizada apresentou um bom equilíbrio entre organismos filamentosos e formadores de floco, com boas condições de depuração decantabilidade e adensabilidade.

A aplicação do TCS no reator (fluxo intermitente) mostrou que para as concentrações de até 0,8 mg/L o lodo não apresentou alterações na estrutura dos flocos. Foi observado que para concentrações > 0,8 mg/L o lodo apresentou variação em sua estrutura gerando flocos pequenos e fracos mostrando crescimento disperso. No entanto, estas características não ocasionaram problemas de decantabilidade durante o período de operação dos reatores em todos os tratamentos testados.

A aplicação de TCS no reator (fluxo contínuo) mostrou que para concentrações maiores que 0,8 mg/L houve um aumento da dispersão do lodo. Estas características causaram problemas de decantabilidade do lodo no decantador secundário. Medidas de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, alcalinidade total, dureza total, condutância específica, temperatura, foram feitas para caracterizar as águas em estudo.

Avaliação do desempenho dos reatores operados em regime de fluxo intermitente com aplicação do TCS.

Os reatores mostraram uma eficiência na remoção de DQO de 87,3 % (valores médios) para todas as concentrações de TCS aplicadas. O controle apresentou uma remoção de DQO de 90,5 %. Concentrações \geq a 16 mg/L apresentaram menores reduções com 85%. Os resultados indicam que a aplicação de TCS não apresenta influência na eficiência do processo. A Tabela 2 apresenta os resultados da série de sólidos observados durante a fase experimental.

A avaliação do crescimento celular com e sem aplicação de TCS mostrou similaridade quanto ao observado no IVL, onde quando aplicado concentrações de 0,2 a 0,6 mg/L de TCS ocorreu um aumento do número de células nos reatores. Concentrações de 0,8 a 128 mg/L causaram redução do número de microrganismos.

Nestas concentrações, a redução de colônias quando comparadas ao controle foi de 30,5 % (0,8 mg/L), 54,3 % (16 mg/L), 55% (32 mg/L), 58% (64 mg/L) e 73 % (128 mg/L).

Tabela 2. Resultados da série de sólidos dos reatores de fluxo intermitentes operados em regime convencional (θc_5) com aplicação de TCS nas concentrações de 0,2 a 128 mg/L. (I = Inicial; F = Final). Valores em mg/L

	Controle		0,2		0,4		0,8		16		32		64		128	
	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F
ST	3004	2204	3052	1627	3100	2045	3102	1882	2600	2345	2776	2432	2994	2123	3390	1903
SVT	2348	1183	2336	1119	2322	1483	2356	1453	2260	1565	2292	1342	2316	1598	2380	1234
SS	778	423	820	499	888	643	876	490	657	479	740	1031	734	689	1134	1123
SSV	122	110	104	65	110	82	130	61	30	17	42	45	62	23	128	21
IVL	321	827	243	601	225	233	228	204	432	114	337	96	340	145	220	89

ST= Sólidos Totais; SVT= Sólidos Voláteis Totais; SS= Sólidos Suspensos; SSV= Sólidos Suspensos Voláteis; IVL= Índice Volumétrico do Lodo.

Avaliação do desempenho dos reatores operados em regime de fluxo contínuo com aplicação do TCS.

Os reatores operados em regime de fluxo contínuo mostraram uma eficiência de remoção de DQO de 95 % para todas as concentrações de TCS aplicadas. O controle apresentou uma remoção de DQO de 91,6 %. A Tabela 3 apresenta os resultados da série de sólidos observados durante a fase experimental.



Tabela 3. Resultados da série de sólidos dos reatores de fluxo intermitentes operados em regime convencional (05) com aplicação de TCS nas concentrações de 0,2 a 128 mg/L. (I = Inicial; F = Final). Valores em mg/L

	Controle		0,2		0,4		0,8		16		32		64		128	
	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F
ST	2900	2790	2664	2445	2868	2595	2724	2435	2728	2344	3100	2213	3054	2100	1983	1345
SVT	2320	2294	2290	2134	2310	2268	2308	2123	2324	1112	2870	1972	2762	1768	1534	1100
SS	646	560	410	299	638	362	484	350	462	349	589	127	675	176	340	123
SSV	74	66	40	29	80	36	68	30	58	29	77	10	80	8	100	4
IVL	232	178	243	230	220	180	413	200	541	200	576	100	677	150	250	125

ST= Sólidos Totais; SVT= Sólidos Voláteis Totais; SS= Sólidos Suspensos; SSV= Sólidos Suspensos Voláteis; IVL= Índice Volumétrico do Lodo.

Os resultados da contagem celular estão de acordo com os resultados observados no IVL, onde em concentrações de 0,2 a 0,6 mg/L de TCS não foi observada redução da biomassa microbiana nos reatores. Com concentrações de 0,8 a 128 mg/L de TCS foram observadas reduções do lodo, que representaram 30,5 % (0,8 mg/L), 54,3 % (16 mg/L), 55 % (32 mg/L), 58% (64 mg/L) e 73% (128 mg/L) em relação ao controle.

Análise da comunidade microbiana nos reatores de fluxo intermitente e contínuo por técnica molecular (PCR-DGGE).

As análises da dinâmica da comunidade microbiana nos reatores foram realizadas selecionando as melhores condições operacionais da aplicação de TCS. Para a análise do efeito do TCS sobre a comunidade microbiana nos reatores de fluxo intermitente foi escolhida a concentração 16 mg/L, e fluxo contínuo a concentração de 32 mg/L. Os reatores foram operados nas mesmas condições dos ensaios anteriores. Para a avaliação do efeito do TCS foi utilizado um reator sem aplicação de TCS (controle) para ambas as situações.

Foi observado que quando os reatores são operados com fluxo intermitente sem aplicação de TCS, o próprio sistema induz uma redução do número de bactérias no processo. Quando estes reatores foram submetidos à operação com a adição de TCS foi verificado o aparecimento de algumas bandas e o desaparecimento de outras após 5 dias de operação do reator. Isto sugere que houve a seleção de alguns componentes da comunidade, que estavam anteriormente presentes na comunidade em uma baixa concentração, não detectável pelo DGGE, e que provavelmente são tolerantes às concentrações de TCS utilizadas e/ou capazes de utilizá-lo como fonte de energia.

Os reatores operados em regime de fluxo contínuo sem o TCS (controle) apresentou o mesmo perfil do sistema intermitente com alteração do perfil de bactérias no processo. Neste caso, pudemos observar o aparecimento de uma banda e o desaparecimento de outra. Já no reator em que foi aplicado o TCS, não foram observadas diferenças na comunidade microbiana ao longo dos 5 dias de operação, indicando que neste processo o TCS não apresentou toxicidade aos microrganismos do lodo na concentração utilizada.

As Figuras 3 a 6 ilustram o efeito dos melhores tratamentos utilizados nos processo de tratamento (contínuo e fluxo intermitente).

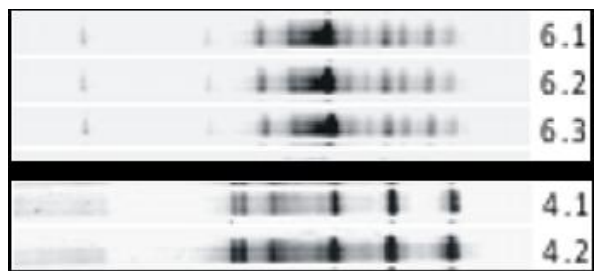


Figura 3 – Reator controle de fluxo intermitente. Inicial (6.1 a 6.3) e final (4.1 a 4.2).

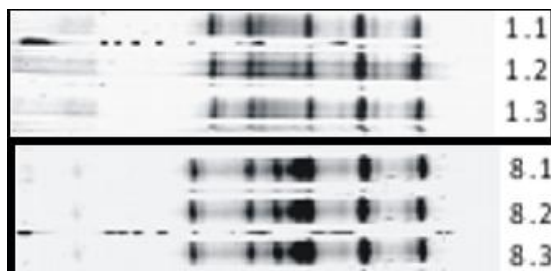


Figura 4 – Reator de fluxo intermitente com aplicação de TCS na concentração de 32 mg/L. Inicial (1.1 a 1.3), final (8.1 a 8.3).

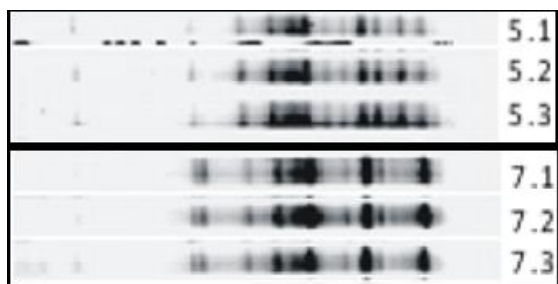


Figura 5 – Reator de fluxo contínuo controle. Inicial (5.1 a 5.3), final (7.1 a 7.3).

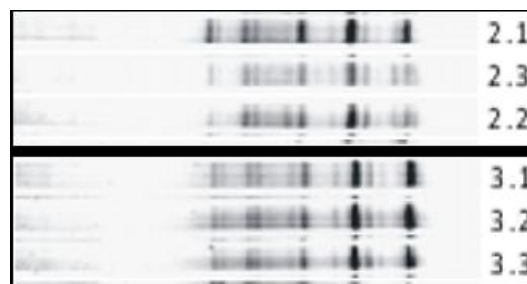


Figura 6– Reator de fluxo contínuo com aplicação de TCS na concentração de 16 mg/L. Inicial (2.1 a 2.3), final (3.1 a 3.3).

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A aplicação do 3,3,4,5-tetraclorosalicilânida (TCS) como um desacoplador metabólico para redução do crescimento microbiano em processo piloto de lodo ativado mostram que concentrações de TCS superiores a 32 mg/L aplicados em reatores de fluxo intermitente e contínuo apresentaram problemas de desagregação dos flocos e má decantabilidade do lodo. Baixas concentrações de TCS (0,2 e 0,4 mg/L) não causaram reduções significativas na produção de lodo quando comparado ao controle. Os resultados mostraram que a melhor concentração de TCS aplicada nos reatores de fluxo intermitente foi de 16 mg/L como uma redução de SSV de 37%, IVL de 73% e UFC de 55%, e que para os reatores operados em regime de fluxo contínuo esta concentração foi de 32 mg/L com reduções de SSV de 55%, IVL de 63% e UFC de 58%.

Os resultados da avaliação do TCS através de técnicas moleculares indicam que para as concentrações utilizadas de TCS 32mg/L nos reatores de fluxo intermitente e 16mg/L nos reatores de fluxo contínuo não apresentaram mudanças na comunidade microbiana.

Embora o TCS mostre ser um produto promissor para a redução global de lodo (50%) em plantas de tratamento de efluentes este deve ser melhor avaliado quanto sua ecotoxicidade antes de sua efetiva aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Standard Methods for examination of water & wastewater 21st edition, 2005
2. Horan, N.J. Biological Wastewater Treatment Systems. Chichester, UK: Wiley, 1990.
3. Liu, Y. Chemically reduced excess sludge production in the activated sludge process. *Chemosphere* 50:1–7, 2003.
4. Low EW, Chase HA Reducing production of excess biomass during wastewater treatment. *Water Res* 33:1119–1132, 1999a
5. Chen, G.H.; Saby, S.; Djafer, M.; Mo, H.K. New approaches to minimize excess sludge in activated sludge systems. *Water Sci Technol*;44(10):203–8, 2001.
6. Metcalf, Eddy. Wastewater Engineering: Treatment Disposal and Reuse. 3rd Ed. New York, USA: McGraw-Hill, 1991.
7. Øvreas, L., Forney, L., Daae, F.L. and Torsvik, V. Distribution of bacterioplankton in meromictic lake Saelevannet, as determined by denaturing gradient gel electrophoresis of PCR-amplified gene fragments coding for 16S rRNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 3367-3373, 1997.