

## II-537 - REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E DE NUTRIENTES EM REATOR UASB SEGUIDO DE FILTRO ANAERÓBIO TRATANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA

**Roberto Alves de Oliveira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Agrônomo e Tecnólogo em Construção Civil; Mestre em Agronomia – Produção Vegetal pela UNESP, Câmpus de Jaboticabal; Doutor em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP); Professor Assistente Doutor, Departamento de Engenharia Rural, UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

**Rose Maria Duda<sup>(2)</sup>**

Engenheira Química; Mestre e Doutora em Microbiologia Agropecuária pela UNESP, Câmpus de Jaboticabal; Pós-doutoranda do Departamento de Eng. Rural da UNESP, Campus de Jaboticabal, Professora Assistente I, da Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal.

**Endereço<sup>(1), (2)</sup>:** Departamento de Engenharia Rural - Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane - s/n - Jaboticabal/SP - Cep. 14884-900 – Brasil - Tel: (16) 3209-2638 - **e-mail:** oliveira@fcav.unesp.br; roseduda@zipmail.com.br;

### RESUMO

Avaliou-se o desempenho de um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) seguido de um filtro anaeróbio, instalados em série, com volume total de 300 L e 190 L, respectivamente, no tratamento de águas residuárias de suinocultura. As cargas orgânicas volumétricas aplicadas no reator UASB foram de 12,4; 15,5; 23,2 e 26,3 g DQOtotal (L d)<sup>-1</sup>. O meio suporte utilizado no filtro anaeróbio foi anéis de bambu e anéis plásticos. No sistema de tratamento anaeróbio foram observadas eficiências médias de remoção de demanda química de oxigênio total (DQOtotal), sólidos suspensos totais (SST); nitrogênio total kjedahl (NTK), Cu, Zn e fósforo total (P-total) de até 97, 96; 71; 96; 98 e 64%, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Digestão anaeróbia, matéria orgânica, metais, nutrientes.

### INTRODUÇÃO

O processo de digestão anaeróbia está sendo amplamente utilizado para a remoção de matéria orgânica de águas residuárias e atualmente é uma tecnologia bem estabelecida para o tratamento de uma ampla variedade de resíduos gerados pelas atividades humanas, urbanas e também rurais, como as da agropecuária (Oliveira e Santana, 2011). A digestão anaeróbia é uma alternativa promissora para o tratamento das águas residuárias de suinocultura, em virtude da viabilidade econômica (Lim e Fox, 2010).

As águas residuárias de suinocultura são caracterizadas pelas altas concentrações de sólidos suspensos (0,5 a 3,0 %), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio, fósforo e coliformes, conforme descrito por Oliveira & Foresti (2004). Nos confinamentos de suínos, principalmente nos de grande porte, onde predomina o uso intensivo de água para a higienização das instalações, são produzidos grandes volumes de efluentes.

Estudos recentes realizados no Brasil com reatores UASB, em escala piloto, tratando águas residuárias de suinocultura, com COV de 21 e 40 g DQOtotal (L d)<sup>-1</sup> (Urbinati e Oliveira, 2008) e COV de 26 g DQOtotal (L d)<sup>-1</sup> (Oliveira e Santana, 2011), com eficiências de remoção de DQOtotal de 88 e 84 % e de 86 %, respectivamente, indicam que os reatores UASB podem ser uma alternativa para o tratamento de águas residuárias de suinocultura com elevadas cargas orgânicas, dispensando o tratamento primário (Duda e Oliveira, 2011).

Segundo Kim et al. (2009) podem existir dificuldades no tratamento de águas residuárias de suinocultura em virtude da alta concentração de sólidos suspensos, prejudicando a hidrólise. O uso do processo anaeróbio em dois estágios (Van Haandel e Lettinga, 1994), com a hidrólise parcial da matéria orgânica particulada no primeiro reator e a conversão, no segundo reator, dos compostos solúveis formados no primeiro reator, pode atenuar o problema (Halalsheh et al., 2005; Duda e Oliveira, 2009).

A utilização do filtro anaeróbio de fluxo ascendente após o reator UASB, pode aumentar do tempo de retenção de sólidos, favorecendo a população metanogênica e, conseqüentemente aumentando a capacidade do sistema de tratamento anaeróbio para resistir a choques orgânicos, às mudanças nas características do substrato e à presença de compostos tóxicos. Mas também pode contribuir para o entupimento do reator, em virtude da retenção de sólidos. Por isso, o uso conjunto de unidades com manta de lodo precedendo as com leito fixo pode contribuir para melhorar o desempenho de reatores anaeróbios em dois estágios (Duda e Oliveira, 2011).

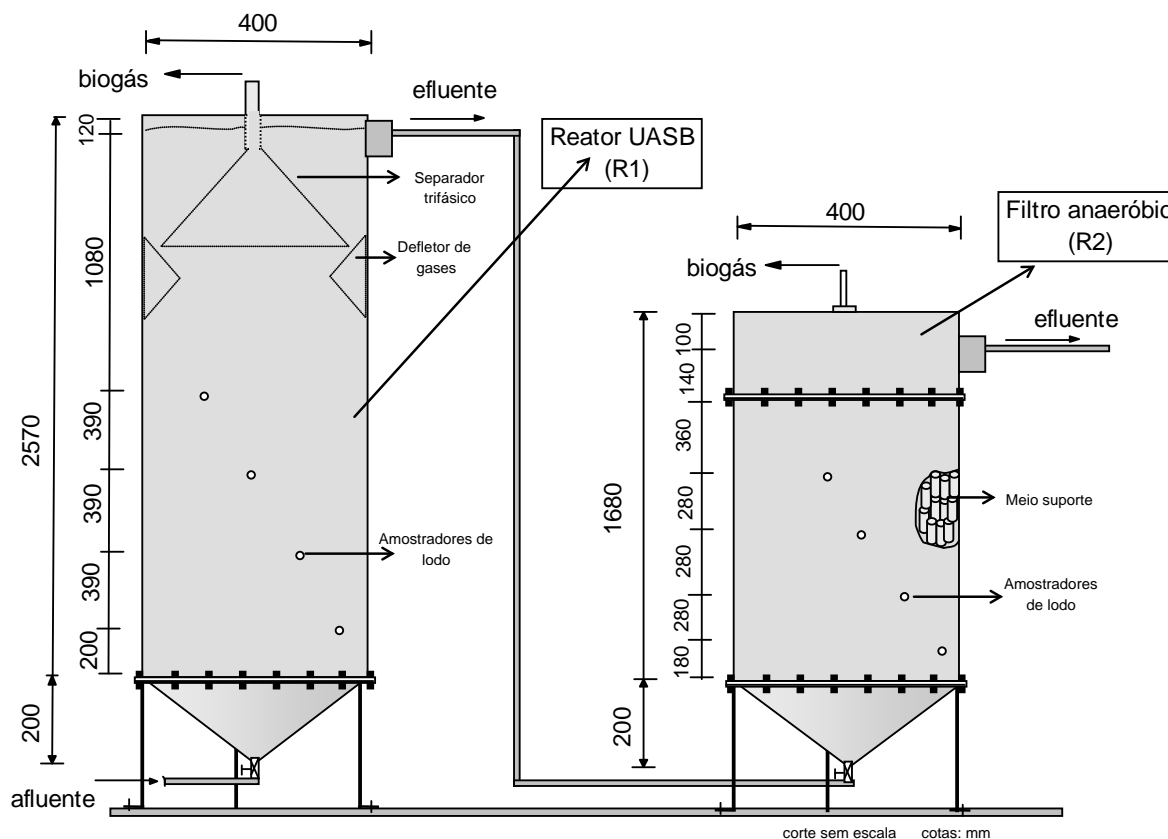
## OBJETIVO

Avaliar um reator UASB seguido de um filtro anaeróbio no tratamento de águas residuárias de suinocultura, com a aplicação de cargas orgânicas volumétricas de 9,2 a 26,7 g DQO<sub>total</sub> (L d)<sup>-1</sup>, quanto à eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes, a produção e qualidade do biogás.

## MATERIAL E METODOS

### Unidade Experimental

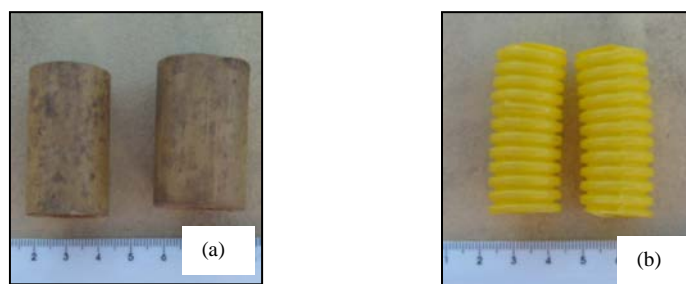
A unidade experimental (Figura 1) utilizada para o tratamento anaeróbio das águas residuárias de suinocultura foi um reator UASB (volume total de 300 L) seguido de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente (volume total de 190 L), instalados em série.



**Figura 1. Representação esquemática das instalações experimentais compostas pelo reator UASB (R1) seguido do filtro anaeróbio (R2).**

O meio suporte utilizado no filtro anaeróbio foi composto por anéis de bambu nos ensaios 1 e 2 e por anéis plásticos (conduíte) nos ensaios 3 e 4 (Tabela 1).

Os anéis de bambu e os anéis plásticos possuíam área superficial específica e índice de vazios de 92,5 e 135,0 m<sup>2</sup> (m<sup>3</sup>) e 75 e 87%, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2. Fotos dos anéis de bambu (a) e dos anéis de plásticos (b) utilizados como meio suporte no filtro anaeróbio de fluxo ascendente nos ensaios 1, 2, 3 e 4.**

#### *Afluente*

Os dejetos utilizados como afluente foram coletados, diariamente, em confinamento de suínos na fase de terminação, com lâmina d'água, alimentados com ração à base de milho ou sorgo e soja, com complemento vitamínico e mineral.

#### *Condições operacionais*

A duração dos ensaios 1, 2, 3 e 4 foram de 124; 111; 150 e 141 dias, e os TDH aplicados nos reatores anaeróbios (R1+R2) foram de 35,7; 17,8; 37,2 e 18,6 h, respectivamente. (Tabela 1). As cargas orgânicas volumétricas aplicadas no R1 foram crescentes de 12,9; 25,2; 26,0 e 26,7 g DQOtotal (L d)<sup>-1</sup>, nos ensaios 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

**TABELA 1. Condições operacionais do sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios, com o reator UASB seguido de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente seguido do filtro biológico percolador (FBP) para o pós-tratamento, nos ensaios 1, 2, 3 e 4.**

		Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 4	
		Media	c.v.	Media	c.v.	Media	c.v.	Media	c.v.
Duração dos ensaios (d)		124	-	111	-	150	-	141	-
Temperatura média (°C)		24,7	10	22,5	7	24,1	6	20,1	10
TDH (h)	UASB (R1)	24,0	-	12,0	-	24,0	-	12,0	-
	Filtro anaeróbio (R2)	11,7	-	5,8	-	13,2	-	6,6	-
COV (g total COD / L d)	UASB (R1)	12,9	-	25,2	-	26,0	-	26,7	-
	Filtro anaeróbio (R2)	4,8	-	4,4	-	2,1	-	4,4	-

c.v. – coeficiente de variação (%); TDH – tempo de detenção hidráulico; COV – carga orgânica volumétrica.

#### *Exames e determinações*

Nas amostras do afluente e efluentes foram determinadas a demanda química de oxigênio total (DQOtotal) e da frações dissolvida (DQOdiss), sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), Cu, Zn e fósforo total, duas vezes por semana, conforme descrito por APHA, AWWA, WPCF (1998). No lodo proveniente do reator UASB e do filtro anaeróbio foram determinados semanalmente os sólidos totais (ST) e os sólidos voláteis (SV). O volume de biogás produzido foi monitorado diariamente por meio de medidas em gasômetros (Oliveira, 1997), e a composição do biogás foi analisada semanalmente em cromatografia gasosa. As temperaturas climatológicas foram medidas na Estação Agroclimatológica.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

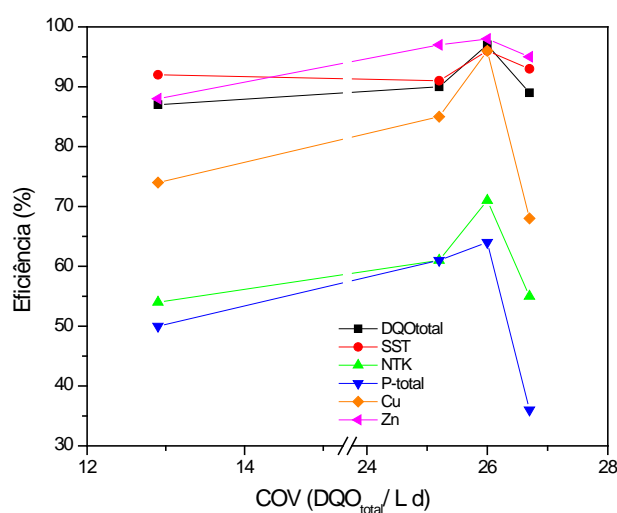
As concentrações médias da demanda química de oxigênio total (DQOtotal), sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio total kjedahl, Zn, Cu, Zn e fósforo total variaram de 12622 a 26030 mg L<sup>-1</sup>; de 8012 a 15775 mg L<sup>-1</sup>; de 657 a 1028 mg L<sup>-1</sup>; de 6,51 a 21,5 mg L<sup>-1</sup>; de 0,64 a 2,43 mg L<sup>-1</sup> e de 361 a 643 mg L<sup>-1</sup>, no afluente do reator UASB, nos ensaios 1, 2, 3 e 4 (Tabela 2). As alterações na composição do afluente ocorreram em virtude de variações na idade e manejo dos animais nas instalações de confinamento de suínos na fase de terminação.

**Tabela 2. Concentrações médias de DQOtotal, SST, NTK, Zn, Cu e P-total no afluente do reator UASB, nos ensaios 1, 2, 3 e 4.**

	Ensaio 1	c.v.	Ensaio 2	c.v.	Ensaio 3	c.v.	Ensaio 4	c.v.
DQOtotal	12993	66	12622	59	26030	61	13888	49
SST	8396	49	8012	40	15775	59	9997	52
NTK	657	45	903	32	1028	49	664	39
Zn	8,88	90	9,89	60	21,5	72	6,51	69
Cu	1,44	48	0,83	49	2,43	67	0,64	60
P-total	361	38	407	48	643	34	453	38

As eficiências médias de remoção de DQOtotal e SST para o sistema de tratamento anaeróbio (R1 + R2) foram de 87; 90; 97 e 89% e de 92; 91; 96 e 93%, com a aplicação de cargas orgânicas volumétricas crescentes de 12,9; 25,2; 26,0 e 26,7 g DQOtotal (L d)<sup>-1</sup> no R1, nos ensaios 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

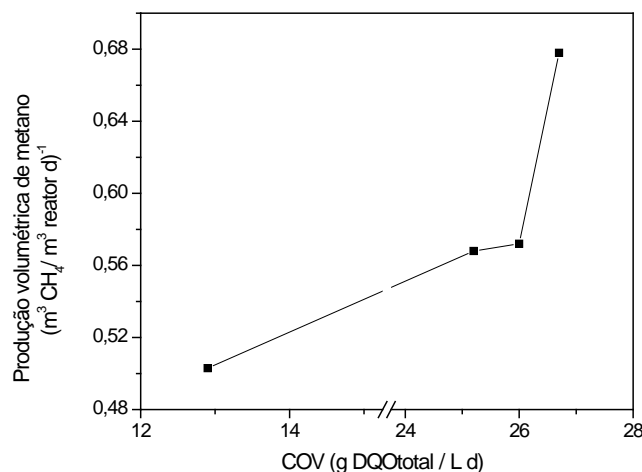
As maiores eficiências de remoção de DQOtotal, SST; NTK, Cu, Zn e P-total no sistema de tratamento anaeróbio (R1 + R2), de 97, 96; 71; 96; 98 e 64%, respectivamente, ocorreram no ensaio 3, com o TDH de 24 h, COV de 26,0 g DQOtotal (L d)<sup>-1</sup> e temperatura média do ar de 24,5 °C (Figura 3). No ensaio 4, apesar do aumento da COV para 26,7 g DQOtotal (L d)<sup>-1</sup> as remoções de DQOtotal, SST; NTK, Cu, Zn e P-total foram reduzidas para 89; 93; 55; 68; 95 e 36%, respectivamente, que podem ter ocorrido em virtude do decréscimo da temperatura média do ar para 20,1 °C (Figura 3).



**Figura 3. Eficiência de remoção de DQOtotal, SST, NTK, P-total, Cu e Zn para o sistema de tratamento anaeróbio (R1 + R2).**

Os valores médios do percentual de CH<sub>4</sub> no biogás no R1 e R2 foram de 80,6; 82,4; 77,5 e 77,2% e de 75,9; 82,1; 77,7 e 77,1%, nos ensaios 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Os maiores valores médios do percentual de CH<sub>4</sub> no biogás, de 82,4 e 82,1% foram observados no ensaio 2, com aumento da COV no R1 para 25,2 g DQOtotal (L d)<sup>-1</sup>, e com temperatura média do ar de 22,5°C. As produções volumétricas de metano aumentaram de 0,503 para 0,568; 0,572 e 0,678 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> (m<sup>3</sup> reator d)<sup>-1</sup>, nos ensaios 1, 2, 3 e 4, respectivamente, com o aumento das COV (Figura 4).

Os valores médios das taxas de carregamento orgânico no lodo (TCL) no reator UASB e no filtro anaeróbio foram de 1,96; 1,84; 0,94 e 1,44 g DQOtotal (g SV d)<sup>-1</sup> e de 0,34; 0,31; 0,24 e 0,17 g DQOtotal (g SV d)<sup>-1</sup>, nos ensaios 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Tabela 3). A TCL durante o regime permanente, pode atingir, de acordo com o tipo de água residuária a ser tratada, valores em torno de 2,0 g DQOtotal (g SV<sub>lodo</sub> d)<sup>-1</sup> (Chernicharo, 2007), portanto os valores observados estão abaixo dos valores recomendados.



**Figura 4. Produção volumétrica de metano no reator UASB e no filtro anaeróbico (R1+R2) tratando águas residuárias de suinocultura.**

As estimativas do tempo de retenção de sólidos (TRS) foram de 39,2; 38,4; 148,2 e 207 d no R1 e de 65,4; 19,5; 83,1 e 20 d no R2, nos ensaios 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Tabela 3). Os maiores valores de TRS de 148,2 e 83,1 d, no R1 e R2, respectivamente, foram observados no ensaio 3, com COV similar as dos ensaios 2 e 4, mas com TDH maior (24 h) e com temperaturas médias do ar mais elevadas, de 24,5°C. Estes fatores favoreceram o crescimento da biomassa microbiana e a retenção de SSV do afluente e, consequentemente, a acumulação de lodo nos reatores.

O TRS mínimo para o processo metanogênico é de aproximadamente 10 d para a temperatura de 35°C. (Ndon e Dague, 1997). Portanto, nas condições operacionais impostas, os valores de TRS observados no R1 e R2, nos quatro ensaios não foram limitantes para o estabelecimento da microbiota necessária para a conversão da matéria orgânica a metano.

**Tabela 3. Valores médios e os coeficientes de variação (c.v.) da taxa de carregamento do lodo (TCL) no reator UASB (R1) e no filtro anaeróbico de fluxo ascendente (R2) em série durante nos ensaios 1, 2, 3 e 4.**

Parâmetros		Ensaio			
		1	2	3	4
R1	TCL	1,96	1,84	0,94	1,44
	TRS	39,2	38,4	148,2	20,7
R2	TCL	0,34	0,31	0,24	0,17
	TRS	65,4	19,5	83,1	20,0

c. v. – coeficiente de variação; TRS- tempo de retenção de sólidos (d); TCL- taxa de carregamento orgânico no lodo ((gDQO (g SV d)<sup>-1</sup>);

## CONCLUSÕES

As eficiências de remoção da DQOtotal, SST, NTK, Cu, Zn e fósforo foram de até 97, 98, 93, 96, 99 e 64%, respectivamente, para o sistema de tratamento anaeróbico, indicando que os reatores UASB seguido do filtro anaeróbico podem ser uma alternativa econômica e robusta para o tratamento de águas residuárias de suinocultura com elevadas cargas orgânicas, dispensando o tratamento primário.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES, FAPESP e a Tigre S. A. pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA/WPCF. (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20<sup>th</sup>, Washington, 1.569 p.
2. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias. 3.ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, v. 5, 359 p, 2007.
3. DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. de. Reatores anaeróbios operados em batelada sequencial, seguidos de lagoas de polimento, para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. Parte I: produção de metano e remoção de DQO e de sólidos suspensos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 122-134, 2009.
4. DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. de. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguido de filtro biológico percolador. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 91-100, 2011.
5. HALALSHEH, M.; SAWAJNEH, Z.; Zu, M.; ZEEMAN, G.; LIER, J.; FAYYAD, M.; LETTINGA, G. Treatment of strong domestic sewage in a 96 m<sup>3</sup> UASB reactor operated at ambient temperatures: two-stage versus single-stage reactor. *Bioresource Technology*, Barking, v.96, n.1, p. 577–585, 2005.
6. KIM, W.; HWANG, K.; SHIN, S. G.; LEE, S. HWANG, S. Effect of high temperature on bacterial community dynamics in anaerobic acidogenesis using mesophilic sludge inoculum. *Bioresource Technology*, Barking, in press, doi:10.1016/j.biortech.2009.03.029, 2009.
7. LIM, S. J.; FOX, P. A kinetic evaluation of anaerobic treatment of swine wastewater at two temperatures in a temperate climate zone . *Bioresource Tecnology*, 2010.
8. NDON, U. J.; DAGUE, R. R. Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic sequencing batch reactor treatment of low-strength wastewater. *Water Research*, Oxford, v. 31, n. 10, p. 2455-2466, 1997.
9. OLIVEIRA, R. A. de; Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluentes no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura. 1997. 359 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.
10. OLIVEIRA, R. A. de, FORESTI, E. Balanço de massa de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tratando águas residuárias de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.3, p. 807-820, 2004.
11. URBINATI, E. & OLIVEIRA, R. A. de. Efeito das cargas hidráulica e orgânica volumétrica no desempenho de reatores UASB em dois estágios no tratamento de águas residuárias de Suinocultura. In... IX Taller y Simpósio Latino Americano de digestión anaeróbia, Isla de Pascoa, Chile, p. 952-956, 2008.
12. VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate. Chichester: John Wiley and Sons, 1994.