

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

REMOCIÓN DE MACRONUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PORCÍCOLAS

Violeta E. Escalante-Estrada; Marco A. Garzón-Zúñiga y Sergio Valle-Cervantes
Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 75-82.



e-revist@s

REMOCIÓN DE MACRONUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PORCÍCOLAS

MACRONUTRIENTS REMOVAL IN THE TREATMENT OF SWINE WASTEWATER

Violeta E. Escalante-Estrada¹; Marco A. Garzón-Zúñiga² y Sergio Valle-Cervantes³

^{1,2} Especialista en Hidráulica., Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauahua 8532, Col. Progreso, Jiutepec; Morelos, C.P. 62550, México. Fax: 01-777-3293622, vescalan@tlaloc.imta.mx ³ Profesor-Investigador., Instituto Tecnológico de Durango

RESUMEN

Una revisión (2004-2011) sobre, los procesos biológicos que mayormente se han estudiado para el tratamiento de efluentes porcícolas, demuestra que estos son: digestores anaerobios, reactor anaerobio de flujo ascendente, filtros anaerobios, reactor secuencial en lote, sistemas lagunares y biofiltros. A partir de una comparación entre la forma de operación y de la eficiencia reportada para los diferentes procesos, se concluye que una buena opción de tratamiento podría ser un sistema combinado de filtros sumergidos anaerobios con filtro percolador aireado, ya que los filtros anaerobios requieren un menor tiempo de retención hidráulico para la reducción de la materia orgánica y por otra parte, los biofiltros aerados pueden alcanzar eficiencias de remoción de nitrógeno mayores a las de otros sistemas (lagunas, variantes de lodos activados, etc). Sin embargo, aunque existen algunos estudios sobre el seguimiento de los mecanismos para la remoción de nitrógeno en biofiltros, se requiere realizar estudios adicionales al respecto. Se propone que una posible estrategia sería estudiando el efecto de la relación C/N y de la tasa aireación en estos sistemas de tratamiento.

Palabras clave: nitrógeno, materia orgánica, oxido nitroso.

SUMMARY

A review (2004-2011) reveals that, the biological processes that have been studied mostly for pig effluent treatment, are: anaerobic digesters, upflow anaerobic sludge reactors, anaerobic filters, sequential batch reactors, lagoon systems and biofilters. From a comparison between the operational characteristics and the pollutants removal efficiency reported for those different processes; it could be concluded that a good treatment option could be a combined system of anaerobic filter submerged followed by an aerated trickling filter; since anaerobic filters require less hydraulic retention time to reduce the organic matter and, moreover, the biofilter can reach nitrogen removal efficiencies greater than those of other systems (lagoons, activated sludge variations, etc). However, although there are some studies on monitoring mechanisms for nitrogen removal in biofilters, it requires further studies in this regard. It is proposed that a possible strategy would be studying the effect of the C/N ratio and the aeration rate in these treatment systems.

Keywords: nitrogen, organic matter, nitrogen oxide.

INTRODUCCIÓN

La producción de ganado porcino se lleva a cabo en todo México, concentrándose en los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Sonora y Yucatán. La industria porcícola se lleva a cabo en granjas tecnificadas, semitecnificadas, y no tecnificadas también llamada ésta última de traspatio y/o familiares. Esta clasificación refleja diferentes formas de manejo de los procesos productivos (automatización) y del uso del agua (nivel de dilución), por lo que la concentración de los efluentes es diferente, siendo más alta cuando más tecnificada se encuentre, aunado a esto, la concentración depende de la edad del animal, su madurez fisiológica, la cantidad y calidad del alimento consumido, y el clima, entre otros (Escalante-Estrada y Garzón-Zúñiga, 2011).

Los residuos sólidos y líquidos generados en la producción de carne de cerdo ocasionan un impacto al ambiente, además del potencial de infección que pudieran causar estos desechos. Los efluentes de la industria porcícola presentan una concentración alta de sólidos, materia orgánica, nitrógeno y fósforo, la cual al carecer de tratamiento y bajo ciertas condiciones de tratamiento generan gases de efecto invernadero (GEI) como son: metano (CH₄), bióxido de carbono (CO₂), oxido nitroso (N₂O).

El potencial de calentamiento global de un GEI se mide en relación con el calentamiento que provoca una unidad de bióxido de carbono. Por ejemplo, si se libera una molécula de metano a la

atmósfera, esta retiene 21 veces más el calor que una molécula de dióxido de carbono y por eso se dice que, una molécula de metano equivale a 21 moléculas de dióxido de carbono; es decir, calienta 21 veces más el metano que el carbono. Una molécula de óxido nítrico equivale a 310 moléculas de dióxido de carbono, porque su efecto de calentar la atmósfera es 310 veces mayor a la de dióxido de carbono (Landa. *et al.*; 2010).

Las alternativas de tratamiento de las aguas residuales de la producción de cerdos, aplicadas en México, se han enfocado a remoción de sólidos mediante métodos físicos (cribado, tornillos, centrifugación, sedimentación); y a la remoción de materia orgánica por procesos biológicos (digestores anaerobios, lagunas anaerobias y lagunas facultativas). Muchos de estos sistemas de tratamiento se han construido sin la realización de una caracterización previa de los efluentes generados en las granjas y sin el seguimiento de un diseño adecuado de los procesos aplicados. Por lo que en dichos sistemas no se obtiene la eficiencia de remoción esperada de sólidos y ni de materia orgánica.

En los últimos años ante el incentivo de los bonos de carbono, en granjas porcícolas se han construido digestores anaerobios para la generación de biogás (metano y dióxido de carbono) y solo algunas granjas cuentan también con una laguna facultativa como postratamiento. Los procesos anaerobios resultan ser eficientes en la remoción de materia orgánica, generando menos lodos de purga que un sistema de lodos activados. Debido a la baja producción de lodos, los requerimientos de nutrientes son menores por lo que no se presentan altas eficiencias en la remoción de nitrógeno y fósforo. Siendo necesario completar el tratamiento con un postratamiento para la remoción de nutrientes cuando se descarga a un cuerpo receptor.

En este trabajo se presentan características de diferentes aguas residuales porcícolas, algunos procesos para su tratamiento, y un análisis de las condiciones de operación y su eficiencia en la remoción de materia orgánica y nitrógeno.

Características y variabilidad de las aguas residuales porcícolas

Los efluentes generados en granjas porcícolas varían de acuerdo al grado de tecnificación de la granja y a la etapa productiva (engorda, destete, maternidad o ciclo completo). Las concentraciones de contaminantes más altas se han reportado para la etapa de destete (Garzón-Zúñiga *et al.*, 2009); engorda (Chao *et al.*, 2008; Karakashev *et al.*, 2008 y Garzón-Zúñiga *et al.*, 2009). Techio *et al.* 2011 reporta características de aguas residuales porcícolas (ARP) que pudieran ubicarse como un efluente de la etapa de engorda (27,269 mg DQO/L, 2,244 mg NTK/L y 1,081 mg N-NH₄⁺/L). Los efluentes de menor concentración fueron reportadas para la etapa de maternidad (Garzón-Zúñiga *et al.*, 2009; Victorica *et al.*, 2008); en efluentes de la etapa de maternidad Jay-Myoung *et al.* (2004); reporta concentraciones semejantes. Concentraciones intermedias a los efluentes de destete, engorda y maternidad fueron reportadas por Garzón-Zúñiga *et al.* (2007) y Aubry *et al.* (2006). Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de las aguas residuales porcícolas.

REFERENCIA	Garzón-Zúñiga <i>et al.</i> , 2009				Techio <i>et al.</i> , 2011	Victorica <i>et al.</i> , 2008	Chao <i>et al.</i> , 2008	Garzón-Zúñiga <i>et al.</i> , 2007	Aubry <i>et al.</i> , 2006			Jay-Myoung <i>et al.</i> , 2004		Karakashev <i>et al.</i> , 2008	Hernández <i>et al.</i> , 2011
PARÁMETRO	Engorda	Deteste	Maternidad	Ciclo completo			Engorda								Engorda
DQO (mg/L)	30,733	37,498	3,000	25,205 - 40,498	27,269	2,997	35,520	15,462	15,400	21,900	24,100	2,940	3,800	27,269	13,000
DBO ₅ (mg/L)	8,298	5,600	2,500	8,460 - 15,061				9,320	9,500	12,600	13,300	1,310	1,730		6,350
SST (mg/L)	10,125 - 42,500	16,357	1,050	15,042 - 25,034	975	975.2		1,970		345	542				1,342
N-total(mg/L)	1,544	1,345	550	1,038 - 2,034											
NTK (mg/L)					2,244			2,080						2,244	
N-NH ₄ (mg/L)									3,100	2,300	1,500	486	854	1,081	612
DQO/N	20	28	5	24 - 20	12			7							
DQO/N:NH ₄									5	9	15	6	4	12	21

Nota: los espacios vacíos indican que los datos no fueron reportados

Relación C/N

Garzón-Zúñiga *et al.*, (2009) determinaron, la relación C(DQO)/N(NTK), para las diferentes etapas productivas de granjas porcícolas de México encontrando los valores siguientes: engorda (20), deteste (28), maternidad (5.45) y ciclo completo (20). Los mismos autores también reportan los valores de la relación C(DBO)/N(NTK): engorda (5.37), deteste (4.15), maternidad (4.54) y ciclo completo (7.4). Se observa que el valor de la relación C (DQO)/N para ciclo completo es igual al de la descarga de engorda, no siendo así con respecto a la relación C (DBO)/N.

A partir de las características de las ARP reportadas por Jay-Myoung *et al.* (2004), se determinó la relación C(DQO)/N, presentando un valor = 4.45 – 6.05; el cual es semejante al de la etapa de maternidad; no siendo el caso para la relación C(DBO)/N = 2.70– 2.03, la cuál resulta ser menor a la reportada por Garzón-Zúñiga, *et al.* (2009). Un valor diferente en la relación C(DQO)/N = 12.5 fue reportado por Karakashev *et al.* (2008), la cuál es un valor intermedio entre la etapa de engorda y de maternidad reportadas por Garzón-Zúñiga, *et al.* (2009). Por lo que la relación C (DQO)/N y C (DBO)/N resulta ser diferente en los efluentes de cada proceso productivo de la industria porcícola.

En el cuadro 1 se presentan algunas características de las aguas residuales porcícolas, utilizadas por diversos autores. En ella se puede observar que hay una gran variación en las concentraciones de materia orgánica (DQO: 2,900 – 40,498 mg/L y DBO₅: 1,310 – 13,300 mg/L) y de Nitrógeno (550 – 2244 mg/L) y también en los valores de la relación C(DQO)/N (reportados y calculados). Ésta última, ubicada en un rango de variación entre 4 y 28. Debido a la gran variabilidad en la concentración de las ARP resulta importante la realización de su caracterización antes de la selección de sistema de tratamiento.

Remoción de C y N en procesos anaerobios

Tiempo de retención hidráulico.- Estudios realizados para el tratamiento de efluentes porcícolas como el de Chao *et al.* (2008) reportan un 71% de remoción de DQO para un biodigestor operando a un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 15.9 días, menores eficiencias de remoción fueron obtenidas en otros digestores anaerobios: 24% DQO con TRH de 15 días (Karakashev *et al.*, 2008) y 15% de DQO a un TRH de 45 días (Techio *et al.*, 2011). Mayor eficiencia de remoción de DQO (91%) y una remoción de NT (56%) fue obtenida en una laguna anaerobia con un TRH de 55 días, (Techio *et al.*, 2011). Se observa que en estos casos la eficiencia de remoción no depende del TRH aplicado, ya que no existe una correlación entre la remoción de materia orgánica (DQO) y el TRH,

por lo que pueden existir otros factores de operación como la temperatura, mezclado, carga orgánica volumétrica (COV) entre otros, que afectan la eficiencia de remoción de materia orgánica en estos procesos.

En procesos anaerobios conocidos como de segunda generación, se han alcanzado las siguientes eficiencias: 1.- 70% de la DQO con un TRH de 6 días aplicando una COV de $4.09 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ en un RAFA (Escalante-Estrada y Garzón-Zúñiga, 2010); 2.- 57% DQO y 11% NT a un TRH de 4 días aplicando una COV de $3.8 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ en un UASB (Karakashev *et al.*, 2008). En estos dos casos se puede observar que con un TRH mayor en un 50% se reporto un incremento del 13% al aplicar COV semejantes.

En reactores anaerobios empacados con materiales inorgánicos, Victorica *et al.*, (2008) al tratar ARP en un sistema de tres filtros anaerobios en serie obtuvo eficiencias de remoción de DQO de 85, 87 y 93% al aplicar COS de 28.15, 38.23 y 55.63 $\text{Kg DBO} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ tiempos de operación de 16, 20 y 27 días de operación con recirculación en condiciones estacionarias. Menores eficiencias de remoción fueron reportadas por Pérez *et al.* (2009), 77% DQO y por González *et al.* (2011) 48% DQO al aplicar TRH de 12 y 9.8 horas y COV de 8.8 y $0.43 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ respectivamente. Por el contrario en un filtro empacado con material orgánico y en ausencia de aire, Hernández *et al.* (2011) obtuvieron eficiencias de remoción del 87% DQO al aplicar cargas orgánicas superficiales (COS) de $0.25 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, y cuando esta carga fue incrementada a una COS de $0.35 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, la eficiencia se redujo a 65% DQO.

De este apartado se puede concluir que al utilizar material inorgánico como empaque en filtros anaerobios se pueden alcanzar eficiencias de remoción de materia orgánica más altas que con material orgánico, y con la ventaja de la aplicación de cargas orgánicas mayores. De los procesos anaerobios, los filtros anaerobios son una buena opción de tratamiento debido a que se requiere un menor TRH para la reducción de la materia orgánica (Cuadro 2).

Cuadro 2. Remoción de macronutrientes (C y N) de diferentes procesos anaerobios.

Proceso	% DQO	% N	C(DQO)/N	T°C	TRH	Carga orgánica	INFLUENTE	REFERENCIA
Biodigestor	71	NR	NR	24.7	15.9 d	NR	ARP	Chao <i>et al.</i> , 2008
Biodigestor	15	-17	NR	NR	45 d	NR	ARP	Techio <i>et al.</i> , 2011
Digestor anaerobio	24	0	12.5	55	15 d	$4.6 \text{ KDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$	ARP(90%)+ AI	Karakashev <i>et al.</i> , 2008
Laguna anaerobia	91	56	NR	NR	55d		ARP	Techio <i>et al.</i> , 2011
RAFA	70	NR	NR	NR	6 d	$4.09 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$	ARP	Escalante <i>et al.</i> , 2010
UASB	57	11	5.3	NR	4 d	$3.8 \text{ gDQOL}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	ARP(90%)+ AI	Karakashev <i>et al.</i> , 2008
Filtro anaerobio	77	NR	NR	NR	12 h	$8.8 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$	AR A,Yuca	Pérez <i>et al.</i> , 2009
Filtro anaerobio	48	NR	NR	22.3	9.8 h	$0.43 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$	ARM	González <i>et al.</i> , 2011
Filtro anaerobio (3 en serie)	93	NR	NR	NR	27d	$55.63 \text{ KgDBO} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	ARP	Victorica <i>et al.</i> , 2008
Biofiltro sin aire	87	34	21.24	NR	NR	$0.25 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	ARP	Hernández <i>et al.</i> , 2011
Biofiltro sin aire	65	14	21.24	NR	NR	$0.35 \text{ KgDQO} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	ARP	Hernández <i>et al.</i> , 2011

NR= No reportada.

Remoción de C y N en procesos aerobios

De los procesos naturales en la remoción de macronutrientes, en una laguna facultativa se reporta una remoción del 34% DQO y 49% Nt operando con TRH de 38 días. En la 1ª laguna de maduración se obtuvieron eficiencias de remoción del 37% DQO y 51% Nt, a un TRH = 19 días; en la segunda laguna de maduración no se reportó remoción de materia orgánica y si el 47% Nt operando a un TRH de 15 días. (Techio *et al.*, 2011).

En biofiltros aerados al tratar ARP, se han obtenido más altas eficiencias de remoción de materia orgánica y de nitrógeno. Eficiencias del 88% DQO (COS 14.1-21.6 g DQO m⁻².día⁻¹), 85% DQO (COS 25.2-38 g DQO m⁻².día⁻¹), 76% DQO (COS 38.6-57.0 g DQO m⁻².día⁻¹) fueron reportadas en Jay-Myoung *et al.* (2004). En este caso se puede observar que a menor COS la eficiencia de remoción de DQO resulto ser mayor; aunque la reducción del 3% en la eficiencia de remoción de DQO no resulta ser tan significativo si se puede incrementar la COS en un 80% en un biofiltro. Al aplicar una menor COV (0.8 kg DBO.m⁻³d⁻¹) en otro biofiltro aireado, se obtuvieron eficiencias de remoción más altas, 98% DQO y 78% N (Aubry *et al.*, 2006); Al reducir más la carga, COS (0.277 kg. DBO.m⁻².día⁻¹), se incrementó la eficiencia de remoción de materia orgánica a 99% DBO (Garzón-Zúñiga *et al.*, 2007). Al aplicar una COS más baja (COS (calculada) 0.104 kg DQO m⁻².día⁻¹), Hernández *et al.* (2011), obtuvo eficiencias de remoción de materia orgánica menores (90% DBO, 65% DQO), y eficiencias altas del 98% N-NH₄.

Karakashev *et al.* (2008) reportan eficiencias de remoción de materia orgánica y de nitrógeno menores a las obtenidas en los biofiltros en procesos como: oxidación parcial 65% DQO, 61%N y OLAND (oxygen-limited autotrophic nitrification-denitrification) 14 % DQO, 56% N, Siendo estos últimos más altos que los obtenidos en lagunas de estabilización con respecto a la remoción de nitrógeno.

Con el proceso de biofiltración aerobia se puede lograr las mayores eficiencias de remoción de nitrógeno, adicionalmente en este proceso también se reportan altas eficiencias de remoción de materia orgánica (DQO, DBO₅) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Remoción de macronutrientes de diferentes procesos aerobios.

Proceso	% DQO	% N	C(DQO)/N	T°C	TRH	Cargas orgánicas y tasa de aireación	INFLUENTE	REFERENCIA
Oxidación parcial	65	61	2.4	NR	1 d	1500 mL/min	ARP(90%)+ AI	Karakashev <i>et al.</i> , 2008
OLAND	14	56	2.18	35	2 d	NR	ARP(90%)+ AI	Karakashev <i>et al.</i> , 2008
Unifed SBR	81		5.7	20-23	1 d	NR	ARP	Zhao <i>et al.</i> , 2008
Biofiltro aireado	88	NR	4.45 - 6.05	NR	NR	14.1 a 21.6 gDQOm ⁻² d ⁻¹	ARP	Jay-Myoung <i>et al.</i> , 2004
Biofiltro aireado	98	79	5	NR	NR	4.5 m ³ aire m ⁻² h ⁻¹	ARP	Aubry <i>et al.</i> , 2006
Biofiltro aireado	98	78	9	NR	NR	4.5 m ³ m ⁻² h ⁻¹	ARP	Aubry <i>et al.</i> , 2006
Biofiltro aireado	87	88	15	NR	NR	0.8 Kg DBO ₅ m ⁻³ d ⁻¹	ARP	Aubry <i>et al.</i> , 2006
Biofiltro aireado	99 (DBO)	NR	7.43	NR	NR	4.4 m ³ aire m ⁻² d ⁻¹ , 277 gDQO m ⁻² .d ⁻¹	ARP	Garzón-Zúñiga <i>et al.</i> , 2007
Biofiltro aireado	65	80	3.47	NR	NR	9.4 m ³ aire m ⁻² d ⁻¹ , 104 gDQO m ⁻² .d ⁻¹ *	ARP	Hernández <i>et al.</i> , 2011
Laguna Facultativa	34	49	NR	NR	38 d	NR	ARP	Techio <i>et al.</i> , 2011
Lag. de maduración (1)	37	51	NR	NR	19 d	NR	ARP	Techio <i>et al.</i> , 2011
Lag. de maduración (2)	-5	47	NR	NR	15 d	NR	ARP	Techio <i>et al.</i> , 2011

NR= No reportada, * CALCULADA

Efecto de la relación c/n en la remoción de macronutrientes

La relación C (DQO)/N afecta en la remoción de los macronutrientes (Figura 1). Esta grafica fue elaborada tomando las eficiencias de remoción de carbono (DQO) y de nitrógeno reportadas por

diferentes investigadores en el periodo 2005-2011 y relacionándolas con la relación C/N que aplicaron cada uno en sus investigaciones. Como se puede observar, valores inferiores a 2.5 presentan eficiencias de remoción menores al 60%, con valores entre 4 y 9 se pueden obtener eficiencias cercanas al 80% de NT, y mayores al 88% de DQO. Se observa que la gráfica presenta un comportamiento en el cual a bajos valores de la relación se presentan bajas eficiencias y al ir aumentando el valor entre 2 y aproximadamente 7 se observa también un incremento de la eficiencia de remoción que para la DQO llega a ser cercana al 100% y para el nitrógeno cercana al 80%. Sin embargo, a partir de un valor de la relación C/N de entre aproximadamente 6 y 7 parece ser que la eficiencia llega a un punto máximo en donde su comportamiento deja de ser dependiente del valor de la relación C/N. Lo cual se observa perfectamente con valores entre 7 y 9. Finalmente para un valor de aproximadamente 15 de la relación C/N se reportó un ligero aumento en la remoción de nitrógeno (cercano al 90%) pero una disminución en la remoción de carbono (DQO cercana al 90% también). Por otra parte, no se tiene reportes de eficiencia en el rango entre 9 y 15. Por lo que sería recomendable realizar investigaciones con aguas residuales porcícolas que presenten relaciones C/N en los siguientes dos rangos: entre 9 y 15 y entre 20 y 28, para conocer su influencia en la remoción de macronutrientes, ya que de acuerdo al cuadro 1, se presentan efluentes de la industria porcícola que presenta dichas relaciones.

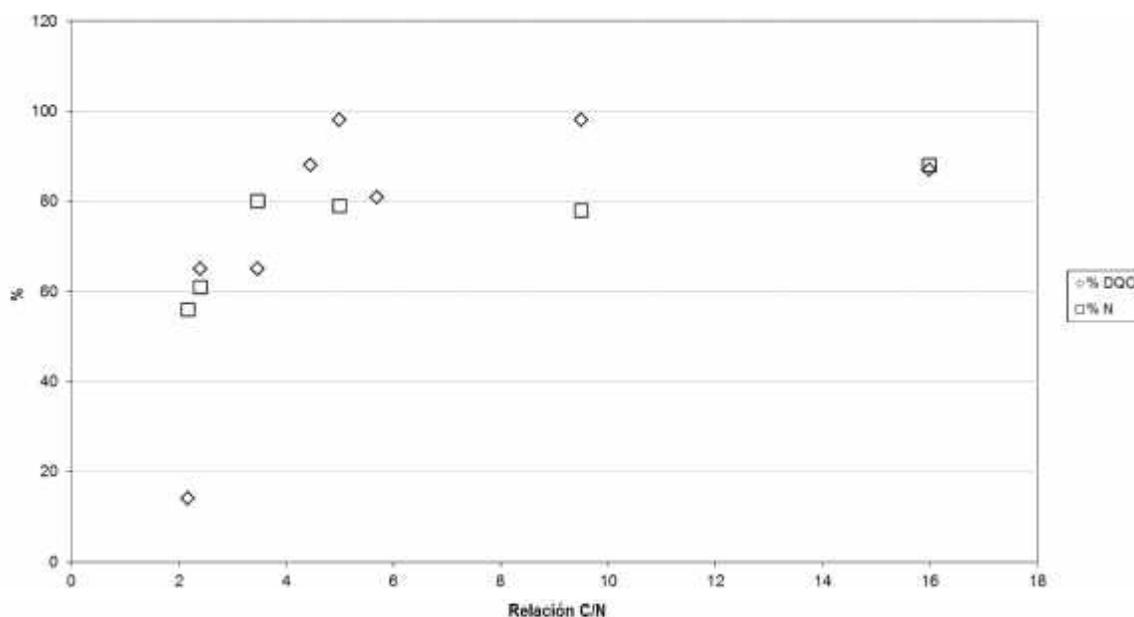


Figura 1. Relación C/N en la remoción de macronutrientes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede obtener eficiencias de remoción de materia orgánica (DQO) mayores al 70% al utilizar procesos anaerobios en el tratamiento de ARP.

Los filtros anaerobios son una buena opción de tratamiento debido a que se requiere un menor TRH para la reducción de la materia orgánica.

Los biofiltros aerados pueden generar mayores eficiencias de remoción de nitrógeno que los otros sistemas utilizados para removerlo (lagunas, variantes de lodos activados, etc).

Cabe mencionar que la mayoría de los trabajos enfocan sus resultados hacia la remoción de materia orgánica y nutrientes, sin realizar reportes de la medición de gases que se generan (CH_4 , N_2 y N_2O).

Por lo que es importante realizar investigación en este sentido para determinar que sistemas y bajo que condiciones remueven eficientemente los contaminantes del agua pero con el menor daño posible (emisión de GEI) al ambiente.

Es recomendable realizar estudios para el tratamiento de aguas residuales porcícolas utilizando un proceso combinado: separación física de sólidos + filtro anaerobio + biofiltro aireado.

LITERATURA CITADA

- Aubry, G., Lessard, P., Gilbert, Y., Le Bihan, Y., and Buelna, G. 2006. **Nitrogen behaviour in a trickling biofilter treating pig manure.** In Proceedings of the IWA Conference BIOFILMS Systems VI, Amsterdam, Water Science and Technology.
- Chao R, Sosa R, Pérez A. and Cruz E. 2008. **A study on pig wastewater treatment with low cost biodigesters.** Volume 20, Article #149. Retrieved July 12, 2010, from <http://www.lrrd.org/lrrd20/9/chao20149.htm>
- Escalante-Estrada V.E. y Garzón-Zúñiga M.A. 2010. **Tratamiento anaerobio para disminuir materia orgánica en efluentes de granjas porcícolas.** XXXII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS. 4 al 12 de Noviembre del 2010
- Escalante-Estrada V.E. y Garzón-Zúñiga M.A. 2011. **Opciones de tratamiento para aguas residuales de tres granjas porcícolas.** Ingeniería Agrícola y Biosistemas 2(2): 87-90, 2010
- Garzón-Zúñiga M.A., Ramírez C.M.E., Escalante E.V.E., Cardoso V.L.M. y Moeller Ch. G.E. 2009. **Sistema de tratamiento anaerobio para la reducción de carga orgánica alta (Industria Porcícola) y acoplamiento con un sistema de pulimento para la reducción de nutrientes.** Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Informe Final. Proyecto IMTA- TC0903.1
- Garzón-Zúñiga M.A., Lessard P., Aubry G. y Buelna G. 2007. **Aeration effect on the efficiency of swine manure treatment in a trickling filter packed with organic materials.** Wat. Sci. Tech., 55(10), 135-143.
- González-Martínez S., González-Barceló O. and Flores-Torres. C.A. 2011. **Wastewater treatment in an anaerobic filter using small stones as filter media without temperature control.** Water Science and Technology. 63. (6): 1188-1195. 2011
- Hernández A., Ramírez E., Garzón-Zúñiga M.A. 2011. **Desempeño de un biofiltro sin aire acoplado con uno aireado para tratar aguas residuales porcícolas.** AIDIS ARGENTINA, Ingeniería Sanitaria y Ambiental, No 112, 44-49.
- Jay-Myoung R., Byoung Ug K. and Jae-Hynk K. 2004. **Attachment Characteristics of Biofilms in Fixed-Lock Media for Swine Wastewater Treatment.** Journal of Environmental Science and Health. Vol. A39, No. 7, p 1843 – 1852. Marcel Dekker, Inc.
- Karakashev, D., Schmidt, J.E., Agelidaki, I. (2008). **Innovative process scheme for removal of organic matter,** phosphorus and nitrogen from pig manure. Water Research 42, 4083-4090. www.elsevier.com/locate/watres
- Landa R., Ávila B. y Hernández M. 2010. **Cambio Climático y Desarrollo Sustentable.** Para América Latina y el Caribe. BRITISH COUNCIL, PNUD, MEXICO, CATEDRA UNESCO IMTA, FLACSO MEXICO.
- Metcalf and Eddy. 2003. **Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, Fourth Edition.** McGraw-Hill. Singapore
- Techio V.H., Stolberg, J., Kunz A., Zanin E. and Perdomo[†], C.C. 2011. **Genotoxicity of swine effluents.** Water Science & Technology 63(5), 970-975.
- Victorica-Almeida J.L., Galván-García M. and Ayala-Ruiz R. 2008. **Sustainable Management of Effluents from Small Piggery Farms in Mexico.** American Journal of Environmental Sciences 4 (3); 185-188. ISSN 1553-345X
- Zhao C.H., Peng Y.Z., Wang S.Y. and Tang X.G. 2008. **Influence of wastewater composition on biological nutrient removal in Unifed SBR process.** Water Science & Technology-WST 58.4

Violeta E. Escalante-Estrada

Ingeniero Industrial Químico (ITZ) y Maestría en Ciencias en Ingeniería de Alimentos (ITD). Jefe de laboratorio, catedrática, profesor-investigador en Institutos y Universidades. Especialista en Hidráulica y Jefe de proyecto en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Principales líneas de investigación: Digestión anaerobia de aguas y lodos residuales, lagunas de estabilización, tratamiento de lodos y reuso del agua residual tratada. Correo electrónico: vescalan@tlaloc.imta.mx.

Dr. Marco A. Garzón-Zúñiga

Maestría en Biotecnología (UNAM) y Doctorado en Ing. Civil (Universidad Laval de Canadá) en ambos casos con especialidad en tratamiento de aguas residuales. Ha trabajado en: Instituto de Ingeniería (UNAM); Centro de Investigaciones Industriales de Québec, (CRIQ) en Canadá. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Experiencia en: Biofiltración, sistemas con biopelícula, tratamiento de aguas industriales, remoción compuestos tóxicos y recalcitrantes, remoción biológica de fósforo y nitrógeno. Correo electrónico: mgarzon@tlaloc.imta.mx.

Dr. Sergio Valle-Cervantes

Ingeniero Industrial Químico (ITD), Maestría en Ingeniería en Sistemas de Proceso (ITESM), Doctorado en Ingeniería Química (Universidad de Texas en Austin). Profesor- Investigador; Instituto Tecnológico de Durango. Áreas de investigación: Ingeniería de procesos y ambiental, Identificación y detección de fallas en plantas de proceso y Control predictivo basado en modelos. Correo electrónico: svalle@gmail.com.mx.