

OPCIONES DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DE TRES GRANJAS PORCÍCOLAS

TREATMENT OPTIONS FOR WASTEWATER OF THREE SWINE FARMS

Violeta Eréndira Escalante-Estrada*, Marco Antonio Garzón-Zuñiga

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532 Col. Progreso. Jiutepec, Morelos. 62550, México
Correo-e: vescalan@tlaloc.imta.mx (*Autor para correspondencia)

RESUMEN

Para el tratamiento de las aguas residuales existen tecnologías de bajo costo como son las lagunas de estabilización y los procesos anaerobios. Las dos tecnologías se han utilizado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga, como las de granjas porcícolas. El objetivo de este trabajo fue presentar opciones de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales de granjas porcícolas, realizando un análisis de sus requerimientos de área. Se presenta la caracterización de las aguas residuales de tres granjas (tecnificada, semi-tecnificada y de traspatio), el sistema de tratamiento para cada una y la calibración del diseño para la granja de traspatio. Las configuraciones propuestas permiten reducir 31 % los requerimientos de área ($m^2 \cdot m^{-3}$) para la granja semi-tecnificada por incluir un digestor anaerobio y 35 % los requerimientos de área ($m^2 \cdot m^{-3}$) para la granja tecnificada al incluir un digestor anaerobio y un reactor anaerobio de flujo ascendente en el tren de tratamiento.

Palabras clave adicionales: Lagunas de estabilización, procesos anaerobios, agua residual porcina.

ABSTRACT

For the treatment of wastewater there are low-cost technologies such as stabilization ponds and anaerobic processes. Both technologies have been used to treat high load wastewater such as swine farm wastewater. The aim of this paper was to present treatment options for different types of swine wastewater, conducting an analysis of area requirements. We present the characterization of wastewater from three different swine farms (technified, low sophisticated and backyard) is presented, besides a description of the treatment system for each case, calibration of the design for the backyard farm. The proposed treatment configurations allow reducing 31 % the area requirements ($m^2 \cdot m^{-3}$), for the low sophisticated farm by including an anaerobic digester; and 35 % in the area requirements ($m^2 \cdot m^{-3}$) for the technified farm by including an anaerobic digester and an upflow anaerobic reactor in the treatment train.

Additional key words: Stabilization ponds, anaerobic processes, swine wastewater.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Dentro de los procesos biológicos se encuentran los procesos anaerobios y las lagunas de estabilización. Los procesos anaerobios, además de ser procesos en el que se puede lograr remover hasta un 90 % de materia orgánica, presentan como ventaja la generación de biogás y un porcentaje bajo de producción de lodos. Los digestores anaerobios

en comparación con el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), pueden aceptar concentraciones altas de sólidos y de materia orgánica, pero operando a tiempos de retención hidráulica (TRH) mayores. Las lagunas de estabilización son estructuras artificiales (generalmente construidas de tierra), en donde se lleva a cabo una combinación de procesos como son: sedimentación, digestión y conversión de desechos orgánicos por bacterias y algas. Se clasifican de acuerdo al tipo de proceso en los siguientes grupos. Anaerobias, que se diseñan para tratar

aguas residuales con concentraciones altas de materia orgánica, su función es permitir la sedimentación de sólidos y la remoción de materia orgánica en condiciones de ausencia de oxígeno. Facultativas, donde el proceso de degradación se lleva a cabo en tres fases. En el fondo de la laguna existen condiciones anaerobias que generan biogás y que produce un ligero mezclado. La fase intermedia la llevan a cabo microorganismos facultativos. En la parte superior de la laguna (20 a 30 cm de la superficie) se lleva a cabo la fase aeróbica; la producción de oxígeno se realiza por medio de las algas que utilizan como fuente de energía la luz solar en el estanque. En las lagunas de maduración, el proceso se lleva a cabo en condiciones aerobias y tienen el objetivo de remover microorganismos patógenos, ya que la remoción de materia orgánica es baja.

Estudios realizados para el tratamiento de efluentes porcícolas como el de Chao (2008) reportan un 71 % de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) para un biodigestor operando con TRH de 15.9 días y una temperatura ambiente promedio de 24.7 °C. Mejía (1986) reporta un 90 % de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de flujo ascendente de laboratorio operando con TRH de dos días. Cordero (2010) al evaluar dos sistemas de tratamiento para el tratamiento de efluentes porcícolas, basados en el proceso de filtración para el primero y filtración + lodos activados para el segundo, partiendo de una concentración inicial de 11 unidades logarítmicas de *Escherichia coli* encontró que la reducción para el primer sistema fue de 6 y para el segundo de 5 unidades logarítmicas, requiriendo de un proceso de desinfección para cada sistema. Las lagunas de estabilización pueden ser el proceso complementario para lograr la desinfección de efluentes de sistemas de tratamiento que no cumplan con las características microbiológicas requeridas. Las lagunas de estabilización y los procesos anaerobios se han utilizado para el tratamiento de aguas residuales de diferentes tipos (municipales, de la industria azucarera, del café y la porcícola, entre otros). Las aguas residuales porcícolas se ubican como de alta carga, variando su concentración de acuerdo a su origen. El objetivo de este trabajo es presentar alternativas de tratamiento para tres tipos de aguas residuales porcícolas, realizando un análisis de sus requerimientos de área.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se enfocó en la caracterización de las aguas residuales en tres granjas porcícolas (tecnificada, semi-tecnificada y de traspatio), siguiendo los métodos estándares (APHA, AWWA, WPCF, 1995) para el muestreo y la determinación de los parámetros pH, temperatura, oxígeno disuelto, DQO, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), nitrógeno total (N-T), fósforo total (P-T) y coliformes fecales (CF). Se realizó el diseño del sistema de tratamiento para cada granja, a partir de los resultados de la caracterización. Se tomaron en cuenta las recomendaciones de diseño para los procesos anaerobios como son: temperatura, carga orgánica volumétrica, TRH entre otros (Metcalf and Eddy, 1979, 2003), y las especificaciones indicadas para el diseño de lagunas de estabilización, como son

la temperatura, evaporación, la carga orgánica volumétrica y superficial, TRH entre otros (Collí *et al.*, 1994). Se plantearon diferentes alternativas de tratamiento, con y sin digestor anaerobio previo al sistema lagunar; y varios esquemas de sistemas lagunares. Se realizó la calibración del diseño para el agua residual de una granja porcícola de traspatio (prueba a nivel piloto).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de las aguas residuales de tres granjas

En el Cuadro 1 se presentan las características de las aguas residuales para los efluentes de las tres granjas porcícolas. Se puede observar que la concentración de materia orgánica (DBO_5 , DQO) aumenta con el grado de tecnificación de la granja. Con respecto a la concentración de coliformes fecales el comportamiento fue indistinto.

Victorica (2008) al caracterizar el agua de salida de un tanque de sedimentación de una granja porcícola pequeña, obtuvo concentraciones promedio de 2,977 mg DQO·L⁻¹, 1,685 mg DBO_5 ·L⁻¹, valores intermedios entre los obtenidos en el agua residual cruda de la granja de traspatio y la semi-tecnificada. La variación de los resultados confirma la importancia de realizar la caracterización de las aguas residuales de granjas porcícolas para el diseño de los sistemas de tratamiento.

Granja de traspatio

La granja de traspatio ubicada a una altitud de 1,010 m, con clima cálido, temperatura media anual de 23.2 °C y una evaporación promedio anual de 6.7 mm, en la que la recolección de sólidos se realizaba en forma manual. A partir de la caracterización del agua residual porcícola se diseñó teóricamente el siguiente tren de tratamiento: separación física de sólidos (SFS), laguna anaerobia, laguna facultativa y tres lagunas de maduración en serie, con profundidades de 2, 1.5 y de 1 m, respectivamente. El sistema de tratamiento fue calibrado a nivel piloto (Estrada y Hernández, 2002), para un caudal de 0.2 m³·d⁻¹ en la época crítica (mes más frío, enero), variando la temperatura ambiente entre 15 y 25 °C y la del agua entre 15 y 24 °C. Los valores promedio de los parámetros de campo estuvieron dentro del rango esperado: anaerobia (pH 7, color del agua gris, ausencia de oxígeno disuelto (OD)); facultativa (pH 8, color del agua verde, 2 mg·L⁻¹ de OD); maduración I (pH > 8, color del agua verde, 6 mg·L⁻¹ de OD); maduración II (pH > 8, color del agua verde, 12 mg·L⁻¹ de OD) y maduración III (pH > 8, color del agua verde, 20 mg·L⁻¹ de OD). Las eficiencias en la remoción de materia orgánica y de sólidos fueron: anaerobia (39 % DQO, 30 % DBO_5 , 36 % SST); facultativa (48 % DQO, 83 % DBO_5 , 31 % SST, 99.2 % CF); maduración I (21 % DQO, 51 % DBO_5 , 16 % SST, 95 % CF); maduración II (34 % DQO, 32 % DBO_5 , 0 % SST, 93 % CF) y maduración III (28 % DQO, 0 % DBO_5 , 0 % SST, 58 % CF). De los resultados se observa que en la laguna facultativa se obtuvo la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica, la que decrece en las lagunas de maduración.

CUADRO 1 Características de las aguas residuales porcinas

Parámetro	Granja tecnificada	Granja semi-tecnificada	Granja de traspatio
Q (m ³ ·día ⁻¹)	156	8	4
DBO (mg·L ⁻¹)	15,061	5,500	590
DQO (mg·L ⁻¹)	40,498	32,621	900
NT (mg·L ⁻¹)	1,048	881	-
PT (mg·L ⁻¹)	430	19	-
SST (mg·L ⁻¹)	25,034	7,555	301
CF (NMP·100 mL ⁻¹)	9.2 × 10 ⁸	3.3 X 10 ¹¹	8.8 × 10 ⁵

No se determinó.

CUADRO 2. Tiempo de retención hidráulica (TRH; días).

Granja	Q (m ³)	DA	RAFA	LA1	LA2	LF1	LF2	LM1	LM2	LM3	Total	Área (m ²)
Traspatio	4			2		14		10	4	4	34	110
Semi-tecnificada	8	20		4	4	8		5	5	5	51	152
Tecnificada	156	20	1			7	7	3	3		41	2782

DA= Digestor anaerobio, LA= Laguna Anaerobia, LF= Laguna Facultativa, LM= Laguna Maduración.

Un comportamiento similar se presentó con respecto a la remoción de coliformes fecales, disminuyendo dos ciclos logarítmicos en la laguna facultativa y uno en cada laguna de maduración. El área requerida para tratar un caudal de 4 m³·d⁻¹ fue de 110 m² sin considerar las áreas para los bordos y caminos de acceso. El efluente del sistema cumple con DBO₅ (27 mg·L⁻¹) y CF (28 NMP 100m·L⁻¹) con respecto a la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, por lo que se considera que los métodos aplicados para el diseño del sistema de tratamiento fueron los adecuados.

Granja semi-tecnificada

Ubicada en una región de clima cálido, con temperaturas ambientales entre 19 y 45 °C, y altitud de 10 m. Los datos de diseño fueron: caudal de 8 m³·d⁻¹, temperatura 23.5 °C, evaporación neta 5 mm·d⁻¹, DBO₅ de 5,500 mg·L⁻¹, CF 3.3 x10¹¹ NMP 100m·L⁻¹. A partir de un análisis previo (Escalante y Paat, 2002), de 16 esquemas de tratamiento se seleccionó la siguiente alternativa que siguiendo los criterios de diseño requiere la menor área para su construcción: SFS, digestor anaerobio, dos lagunas anaerobias, una facultativa y tres de maduración en serie (la profundidad de las lagunas facultativas fue 1.5 m y las de maduración de 1.2 m para cada una de ellas). Teóricamente se obtendrá un 95 % remoción de DBO₅ y menos de 1,000 NMP 100m·L⁻¹ de CF en el efluente. La superficie requerida para el sistema lagunar es de 152 m², sin incluir el área para bordos y caminos de acceso. El área requerida para el digestor anaerobio es de 6m² y el TRH de 20 d.

Granja tecnificada

Tomando en cuenta que el agua residual de la granja tecnificada (ubicada a 1,765 m) presenta una concentración mayor de materia orgánica que las granjas de traspatio y semi-tecnificadas,

se propuso un esquema de tratamiento que incluyera digestores anaerobios y RAFA con el enfoque de generación y captura del biogás. Los datos utilizados en el diseño fueron: caracterización del efluente de la granja (Garzón-Zúñiga *et al.*, 2009), una temperatura ambiente promedio de 18.5 °C (época más fría), y un caudal a tratar de 156 m³·d⁻¹. El esquema propuesto y la remoción esperada para DBO₅ es: SFS (30 %), digestor anaerobio (90 %), RAFA (90 %), laguna facultativa I (70 %), laguna facultativa II (70 %), laguna de maduración I (30 %), laguna de maduración II (5 %), laguna de maduración III (5 %). Con una reducción de dos ciclos logarítmicos de coliformes fecales en el efluente de la primera laguna facultativa, un ciclo logarítmico en la segunda laguna facultativa y en cada laguna de maduración. Teóricamente el efluente del sistema de tratamiento contendrá menos de 30 mg·L⁻¹ de DBO₅ y menos de 1000 NMP 100m·L⁻¹ de CF, el área total requerida es de 2,782 m², sin incluir el área para bordos y caminos de acceso. Se consideró una altura de diseño para los procesos anaerobios de 6 m y para las lagunas facultativas y de maduración una profundidad de 1.5 m y 1.2 m respectivamente.

Comparación entre sistemas de tratamiento

En el Cuadro 2 se presentan los requerimientos de TRH por proceso y total de los trenes de tratamiento, así como el área requerida para cada sistema de tratamiento. Con respecto a los TRH por sistema, se observa que a mayor concentración de coliformes fecales en el agua residual de la granja porcina, se requiere un mayor TRH. La relación entre el área requerida y el caudal a tratar fue: para la granja de traspatio de 27.5 m²·m⁻³, para la semi-tecnificada 19 m²·m⁻³, y para la tecnificada de 17.8 m²·m⁻³. Como es de esperar se reducen los requerimientos de área por metro cúbico a tratar, al utilizar el digestor anaerobio en la granja semitecnificada, y al utilizar en serie el digestor anaerobio y el RAFA en la granja tecnificada.

CONCLUSIONES

La variación en la concentración de las aguas residuales de las granjas porcinas en este trabajo, confirman la importancia de su caracterización antes del diseño de los sistemas de tratamiento.

En granjas de traspaso es conveniente la utilización de lagunas de estabilización debido a los bajos requerimientos de operación y mantenimiento. En granjas tecnificadas se recomienda incluir un digestor anaerobio como primer tratamiento biológico, continuar con un RAFA para disminuir la concentración de materia orgánica, reduciendo el área requerida para las lagunas de estabilización. Se generó una reducción del 31 % en los requerimientos de área ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$), al incluir un digestor anaerobio en el diseño del tren de tratamiento para la granja semitecnificada, y de un 35 % en los requerimientos de área ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$) al utilizar en serie un digestor anaerobio y RAFA en el diseño del tren de tratamiento para la granja tecnificada. El número y tipo de procesos anaerobios depende del contenido de materia orgánica a remover, el número de lagunas y su TRH depende de la concentración de coliformes fecales a remover.

LITERATURA CITADA

- APHA; AWWA; WPCF. 1995. Standard Methods for Examination of Waste and Wastewater, 19th edn. Washington D. C.
- Cordero A. B.; Martínez R. G.; Herradora M. A.; Ramírez G. 2010. Evaluation of two wastewater treatment systems design for small pork farms and its efficiency to decrease coliforms and *Salmonella* spp. Livestock Research for Rural Development. Volume 22, Article 114. Retrieved July 12, 2010, from <http://www.lrrd.org/lrrd22/6/cord22114.htm> 12/07/2010.
- Chao R.; Sosa R.; Pérez A. A.; Cruz E. 2008. A study on pig wastewater treatment with low cost biodigesters. Volume 20, Article 149. Retrieved on July 12, 2010, from <http://www.lrrd.org/lrrd20/9/chao20149.htm> 12/07/2010.
- Escalante E., V. E.; Paat E., J. A. 2002. Tratamiento de efluentes en una granja porcícola en el estado de Campeche, XXVIII Congreso Interamericano de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, Quintana Roo, México.
- Garzón Z., M. A.; Ramírez C., M.E.; Escalante E., V. E.; Cardoso V., L. M.; 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
- Collí M. J. Pearson, H. D.; Rico M. M.; García O. J.; Escalante E. V. E.; Rivas H. A.; Iliev M. M. 1994. Manual de Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento. Libro II. 3ª Sección: Potabilización y Tratamiento. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Metcalf, Eddy. 1979. Wastewater Engineering, Treatment disposal, Reuse, McGraw-Hill, New York.
- Metcalf, Eddy, 2003. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, Fourth Edition. McGraw-Hill. Singapore.
- Mejía S. G. M.; Magaña P. A. H. 1986. Digestión anaerobia de aguas residuales porcícolas. Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Estrada V. E. E.; Hernández D. E. A. 2002. Treatment of piggery wastes in waste stabilization ponds. Water Science and Technology. Vol. 45 Núm. 1 pp 55-60. IWA Publishing.
- Victorica A. J. L.; Galván G. M.; Ayala R. R. 2008. Sustainable Management of Effluents from Small Piggery Farms in Mexico. American Journal of Environmental Sciences 4: 185-188.