



## I-170 - TRATAMIENTO DE EFLUENTES PORCÍCOLAS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

**Violeta Eréndira Escalante Estrada<sup>(1)</sup>**

Ingeniería Industrial Química, con Maestría en Ciencias en Ingeniería de Alimentos, Profesor-Investigador, Jefe de Laboratorio, Jefe de Proyecto, Especialista en Hca. en la Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales del IMTA. Área de interés: Digestión anaerobia de aguas y lodos residuales, lagunas de estabilización, evaluación de plantas de tratamiento, reuso y tratamiento de lodos.

**Dimna Edaly Alarcón Hernández**

Ingeniera Química, Pasante de Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México, DEPMI, Campus Morelos.



**Dirección<sup>(1)</sup>:** Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso. Jiutepec, Morelos - 62550 - México - Tel. y Fax (73) 19-4366 - e-mail: [vescalan@tlaloc.imta.mx](mailto:vescalan@tlaloc.imta.mx)

### RESUMEN

La industria porcícola genera efluentes con alta carga, esto principalmente debido a la concentración de miles de animales en un espacio reducido, alimentos con alto contenido de proteína que no son asimilados por el cerdo y al mal manejo del agua en las granjas. Este trabajo tuvo como propósito el de obtener constantes cinéticas de remoción de carga orgánica y bacteriana en un tren de tratamiento piloto y realizar el diseño a escala completa para una granja pequeña ubicada en una zona con clima cálido del estado de Morelos. Para llevar a cabo éste objetivo se realizó la caracterización, el diseño, la selección del sitio, el estudio del terreno, la construcción del sistema lagunar piloto. El diseño considera separación física de sólidos, laguna anaerobia, facultativa y tres lagunas de maduración. Después del arranque y estabilización del sistema, se determinaron los parámetros de pH, temperatura, olor, color, DBO, DQO, Coliformes Fecales y SST. Las constantes cinéticas a una temperatura promedio del agua de 20°C, fueron: para la facultativa  $K = 0.15 \text{ días}^{-1}$  y  $K_b = 0.3 \text{ días}^{-1}$ , para la primera de maduración  $K = 0.07 \text{ días}^{-1}$  y  $K_b = 0.40 \text{ días}^{-1}$ , para la segunda de maduración  $K = 0.09 \text{ días}^{-1}$  y  $K_b = 0.99 \text{ días}^{-1}$  y para la tercera de maduración  $K_b = 0.26 \text{ días}^{-1}$ . La remoción de carga orgánica en el sistema fue del 93 % y la bacteriana del 99.999%. Los resultados en este trabajo indican que el efluente del sistema lagunar en estudio cumple con la Norma Oficial Mexicana para su reuso en agricultura. De acuerdo con lo anterior el esquema recomendado para el tratamiento de efluentes porcícolas es el de separación física, laguna anaerobia, laguna facultativa y dos lagunas de maduración.

**PALABRAS-CLAVE:** Laguna de Estabilización, Residuos Porcícolas, Reuso.

### INTRODUCCION

La República Mexicana cuenta con un inventario porcino de 12.5 millones de cabezas aproximadamente. De su producción se estima que un 46% es tecnificada, un 20% semitecnificada y el 34% está en pequeñas unidades familiares de traspatio. La mayor concentración de producción de cerdos se encuentra: en el centro del país y mayormente en la cuenca del Río Balsas, los estados de Jalisco, Michoacán y Guanajuato reúnen a 4.3 millones de cabezas; Sonora, en el noreste, posee 1.2 millones de cabezas y, Yucatán en el sureste, tiene aproximadamente 1.0 millón de cabezas. (Pérez Rosario 1997).

La cantidad de excretas que produce un cerdo puede depender de varios factores, entre ellos la edad del animal, su madurez fisiológica, la cantidad y calidad del alimento consumido, la cantidad de agua consumida y el clima, entre otros. Las excretas porcinas tienen un alto contenido de materia orgánica biodegradable (aproximadamente 55%) y un gran número de elementos contaminantes entre los que destacan: patógenos, nitrógeno y minerales como el cobre, zinc y arsénico.

Las características de los efluentes porcícolas dependen del origen de las excretas, raza del animal, alimentación, edad, clima. Un promedio de las características de las excretas de cerdos presenta los siguientes valores: DQO 27, 515 mg/l, DBO de 9, 171 mg/l, SST 22,013 mg/l, pH 7.5, NTK 1,836 mg/l, P



total 481 mg/l. Las aguas residuales porcinas pueden ser tratadas biológicamente y por la alta carga que contienen se requiere incluir un proceso de digestión anaerobia para reducirla.

El objetivo de este trabajo fue el de obtener las constantes cinéticas en una sistema de lagunas de estabilización a nivel piloto, ubicadas en una zona cálida; para llevar a cabo éste propósito se realizó el diseño del tren de tratamiento, el cual consta de separación de sólidos, laguna anaerobia, facultativa y tres de maduración.

## METODOLOGÍA

En Morelos existen diversas granjas porcícolas, tanto criaderos de traspatio como grandes granjas. La granja en estudio se considera de traspatio y ésta ubicada en el Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario #8, en Chiverias, Morelos, carretera Alpuyecá-Jojutla, Km. 8. Xoxocotla, Mor. Las características geográficas que se tienen son: latitud  $99^{\circ} 4'$ , longitud  $18^{\circ} 7'$ , altitud 1010 msnm: presenta un clima cálido con una temperatura media anual de  $23.2^{\circ}\text{C}$ , su evaporación promedio anual es de 6.7 mm. Se tuvo preferencia por este sitio debido a las facilidades prestadas por la Institución, así como la accesibilidad de la misma, además de contar con área suficiente para la construcción de la planta piloto.

Se realizó la caracterización de los efluentes porcinos a partir de muestras compuestas tomadas durante los meses de abril y mayo, por las características estas aguas residuales se consideran de tipo industrial. La granja genera un gasto promedio de  $4\text{ m}^3/\text{d}$ , para el diseño de la planta piloto se seleccionó un caudal de  $0.2\text{ m}^3/\text{d}$ .

La planta piloto cuenta con el siguiente tren de tratamiento: Tanque de recepción en donde se realiza la separación de sólidos, laguna anaerobia, laguna facultativa y tres lagunas de maduración en serie, los tiempos de retención hidráulica de diseño para cada laguna fueron: 2, 14, 10, 4 y 4 días respectivamente y para eficiencias de remoción del 95% en DBO y 99.99% en coliformes fecales. La laguna anaerobia se diseñó con una profundidad de 2 m, la facultativa para 1.5 m y las de maduración de 1 m cada una. Se realizó el estudio del terreno, los resultados indicaron la necesidad de impermeabilizar.

La fase experimental se llevó a cabo durante la época más fría (Enero). Se realizó la toma de muestras simples, en la entrada y salida de cada laguna, con intervalos de 3 horas, distribuidos durante tres semanas. Se tomaron 14 muestras en total para cada uno de los puntos de muestreo. En campo se midieron los parámetros de: Flujo, pH, temperatura ambiente y del agua, oxígeno disuelto. En el laboratorio se determinaron: Sólidos Suspendidos Totales (SST), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Alcalinidad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes fecales; Standard Methods, 20<sup>a</sup> ed. (5210-B). Para la determinación de las constantes cinéticas se utilizó el modelo de flujo disperso (Ecuación de Thirumurthi).

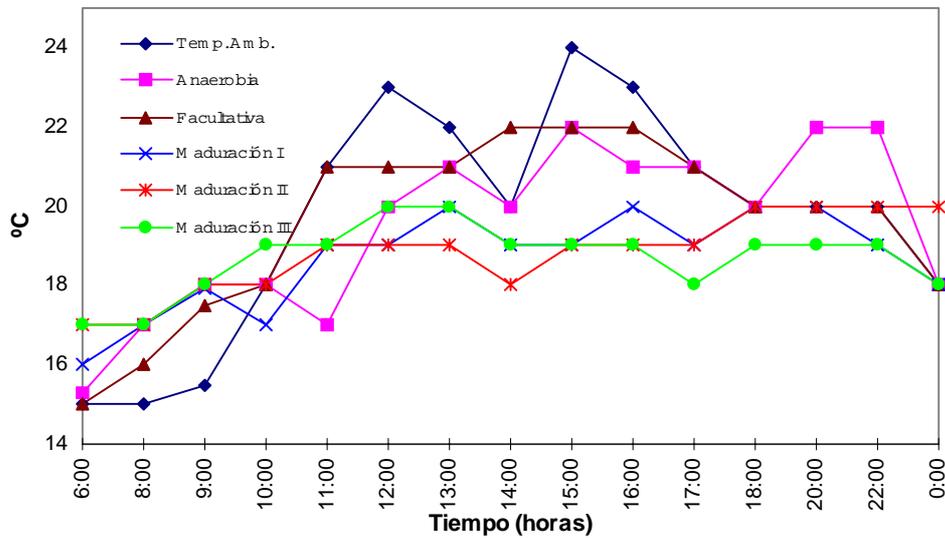
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la toma de muestras se tuvieron condiciones libres de nubosidad, la temperatura ambiente fluctuó entre  $15$  y  $25^{\circ}\text{C}$  (época crítica), los registros de temperatura del agua indican una variación entre los  $15$  y  $24^{\circ}\text{C}$ . La temperatura promedio del agua en las lagunas anaerobia y facultativa fue semejante a la temperatura promedio del ambiente ( $20^{\circ}\text{C}$ ); en las lagunas de maduración la temperatura promedio del agua fue menor en un grado centígrado al promedio ambiental. En la Figura 1 se presentan los registros de temperatura del aire y del agua durante la toma de muestras.

Con respecto a otros parámetros de campo, la laguna anaerobia presentó registros de pH de 7, se observó burbujas en su superficie, se detectó mal olor y no se registró oxígeno disuelto, éstos parámetros comprobaron las condiciones anaerobias del proceso. En la laguna facultativa se detectó ligero mal olor en el influente y pérdida de éste hacia la salida de la misma, coloración verde del agua y un pH de 8, se midieron concentraciones de oxígeno disuelto de  $2\text{ mg/l}$ .



Figura No. 1 Variación horaria de temperatura ambiente y del agua



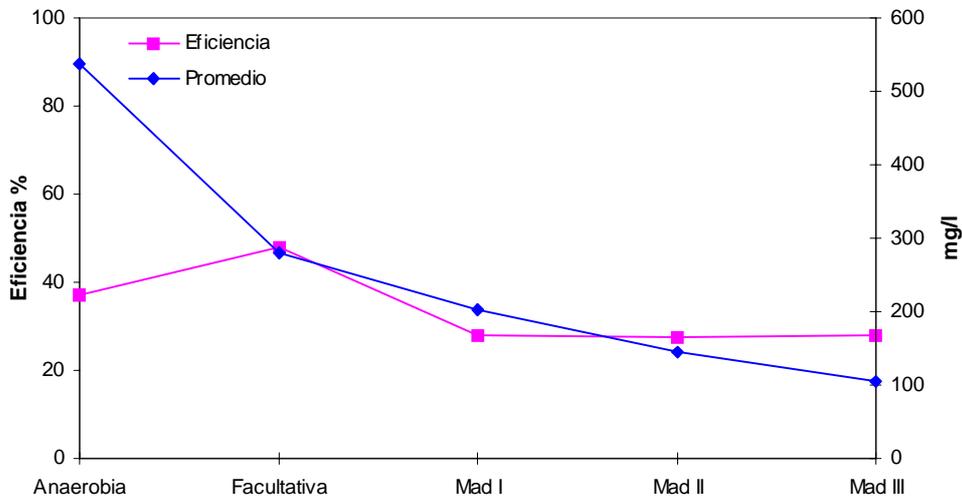
En las lagunas de maduración I, II y III el pH fue superior a 8, no hubo detección de olor y la coloración del agua fue verde; la concentración de oxígeno disuelto en éstas lagunas se incrementó conforme avanzó el tratamiento, registrándose en la primera laguna de maduración, 6 mg/l. La segunda 12 mg/l y la última 20 mg/l, los perfiles de oxígeno indicaron una capa aeróbica entre 20 y 30 cm.

La concentración de alcalinidad varió dependiendo del tipo de laguna, en la anaerobia se presentó un incremento en la concentración, de un influente con 1,165 mg/l a un efluente con 1,674 mg/l. En las siguientes lagunas se presentó una reducción de alcalinidad conforme avanzó el tratamiento: laguna facultativa con un efluente de 337 mg/l, primera laguna de maduración con 232 mg/l, la segunda laguna de maduración con 151 mg/l y la tercera de maduración con un efluente de 145 mg/l.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). La figura dos presenta las eficiencias de remoción de carga orgánica medida como DQO en las lagunas de estabilización, en donde se puede observar que las lagunas de maduración I, II y III obtuvieron una eficiencia igual a 28% para cada una de ellas. Con respecto a la concentración de éste parametro en el efluente, se observa en esta misma figura su disminución con respecto al incremento en el número de lagunas: anaerobia 537 mg/l, facultativa 280 mg/l, maduración I 222 mg/l, maduración II 146 mg/l y maduración III 105 mg/l en promedio.

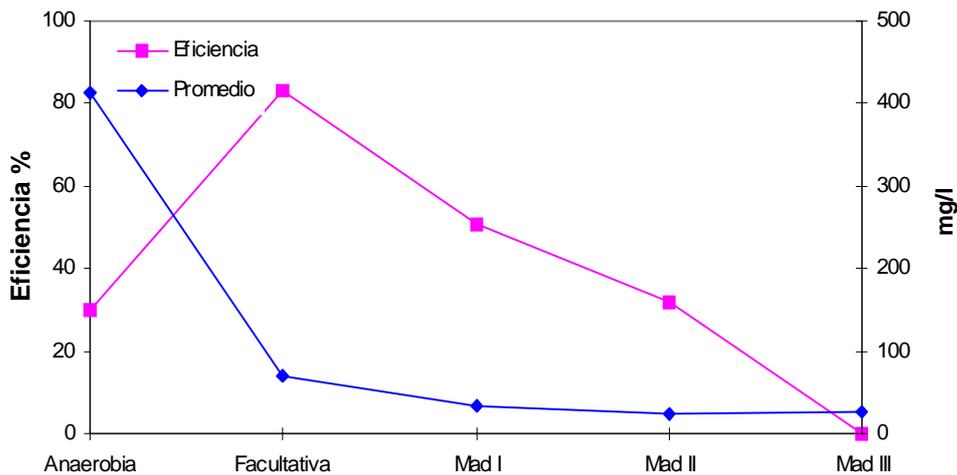


**Figura No. 2 Demanda Química de Oxígeno, Eficiencia de remoción y concentración promedio en el efluente.**



Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). El efluente de la laguna anaerobia presentó una concentración de DBO de 413 mg/l, la facultativa de 70 mg/l, la de maduración I de 34 mg/l, la de maduración II 23 mg/l, y la última de maduración de 27 mg/l, en ésta última se observó un ligero incremento de DBO. La eficiencia de remoción alcanzada en la laguna anaerobia para éste parámetro fue del 30%, que resultado menor a la considera en su diseño teórico; en la laguna facultativa se obtuvo una eficiencia de remoción del 83% esta eficiencia resultó ser superior a la esperada; las lagunas de maduración I y II alcanzaron eficiencias de 51% y 32% respectivamente; la remoción de DBO en la tercera laguna se considera nula. Ver figura 3

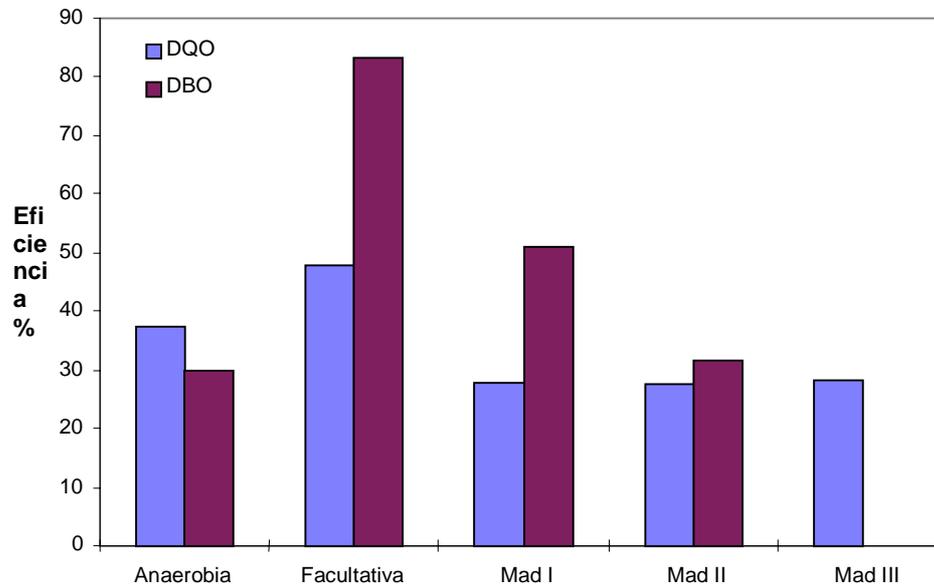
**Figura No. 3 Demanda Bioquímica de Oxígeno, Eficiencia de remoción y concentración promedio en el efluente.**





La figura 4 se presenta una comparación entre las eficiencias de remoción de carga orgánica obtenidas en función de DQO y DBO, en la que se puede observar una mayor eficiencia de remoción de DQO que de DBO en la laguna anaerobia, caso contrario sucede con las siguientes lagunas en las que la eficiencia de remoción de DBO fue mayor que de DQO.

**Figura No. 4 Comparación entre la eficiencia de remoción de DQO y DBO**



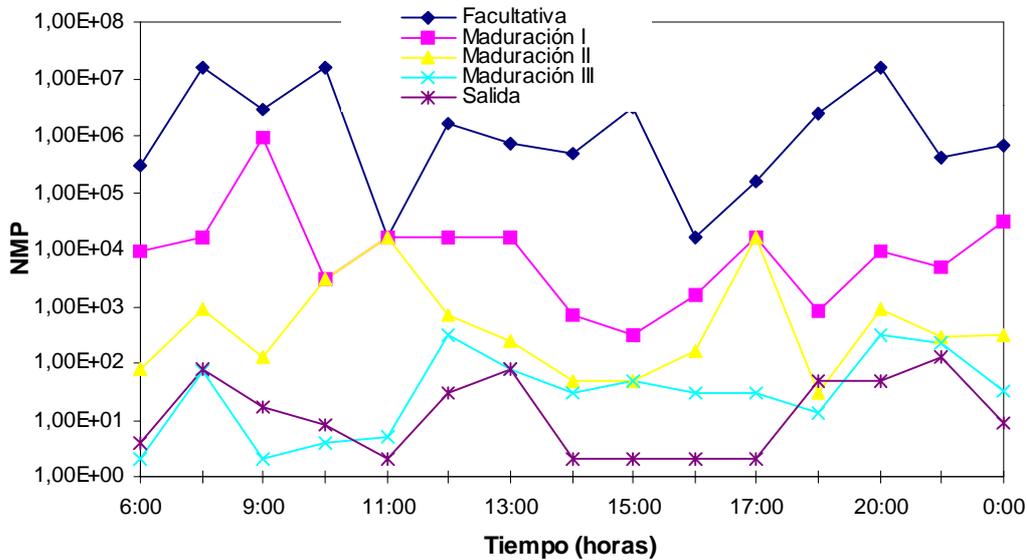
Sólidos Suspendidos Totales (SST). La concentración de los SST, en las aguas residuales porcinas es alta, debido a lo anterior se realizó una separación física por sedimentación previa a las lagunas de estabilización. La concentración de SST en el influente al sistema fue en promedio 301 mg/l, el efluente de la laguna anaerobia fue de 192 mg/l, con una remoción alcanzada del 36% valor adecuado para este tipo de lagunas, la laguna facultativa presentó un efluente de 132 mg/l que representa el 31% de la eficiencia de remoción para éste parámetro; en la laguna de maduración I se generó un efluente con 111 mg/l de SST, la reducción aquí fue menor (16%); la segunda laguna de maduración no presentó eficiencia de remoción ya que el efluente incrementó en el contenido de sólidos; la tercera laguna generó un efluente final de 81 mg/l en SST.

Coliformes fecales. Se calculó la media geométrica para el parámetro de coliformes fecales, los resultados obtenidos fueron: Influyente a la laguna facultativa de  $8.8 \times 10^5$  org./100 ml NMP y un efluente de  $7.3 \times 10^3$  org./100 ml NMP, con una eficiencia de remoción del 99.2%. La laguna de maduración I, con una eficiencia de remoción del 95% presenta un efluente de 401 org./100 ml NMP. La laguna de maduración II presentó una eficiencia de remoción del 93% con un efluente de 28 org./100 ml NMP y la tercera laguna de maduración III generó una eficiencia menor a las anteriores lagunas (58%). Como se observa el efluente de la laguna de maduración II cumple con el valor especificado en la Norma Oficial Mexicana (< 1000 CF, NMP) para su reuso en riego agrícola, por lo anterior el sistema de lagunas a escala completa no requerida de la tercera laguna de maduración.

En la figura 5 se presenta la variación horaria de la concentración de coliformes fecales en el sistema lagunar. Se puede observar la reducción en promedio de dos ciclos logarítmicos en la laguna facultativa y la reducción de un ciclo logarítmico en la primera y segunda laguna de maduración. El sistema presenta una reducción del 99.999% para este parámetro.



**Figura No. 5 Coliformes fecales en las lagunas de estabilización**



Carga orgánica aplicada. La carga orgánica volumétrica aplicada a la laguna anaerobia vario entre 150 y 440 g/m<sup>3</sup>.día, presentando un promedio de 295 g/m<sup>3</sup>.día, dato similar al de diseño 300 g/m<sup>3</sup>.día, en la figura 6 se puede observar su variación. La figura 7 presenta la variación horaria de la carga orgánica superficial aplicada a las lagunas de estabilización, en la que se puede observar que la laguna facultativa recibió en 4 ocasiones una carga mayor a la recomendada por la literatura (350 Kg/ha.día), cabe mencionar que el promedio de ésta carga en la laguna fue menor a la máxima. En las lagunas de maduración la carga superficial aplicada fue menor a 100 Kg/ha.día con excepción de dos ocasiones para la primera y tres para la segunda. Los valores promedios de ésta carga para las lagunas de maduración fueron menores a 100 Kg/ha.día.

**Figura No. 6 Carga volumétrica en la laguna anaerobia**

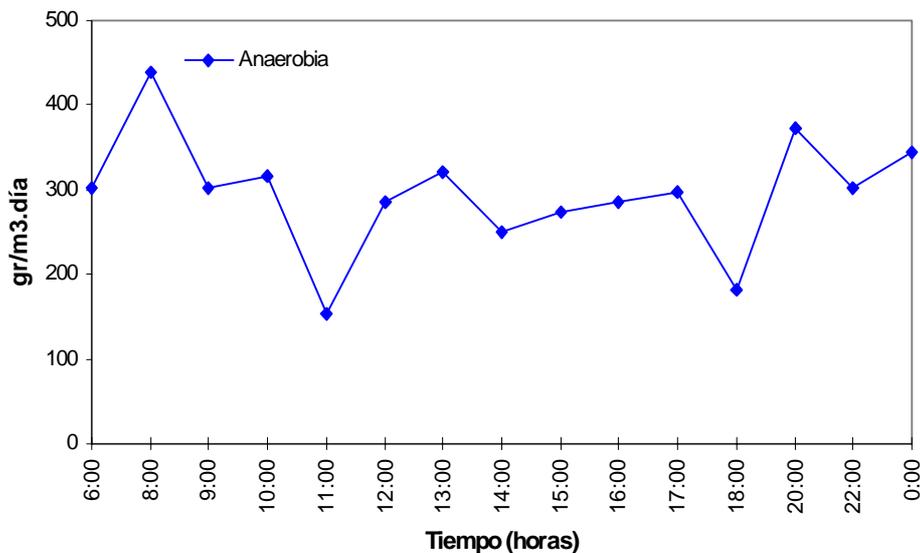
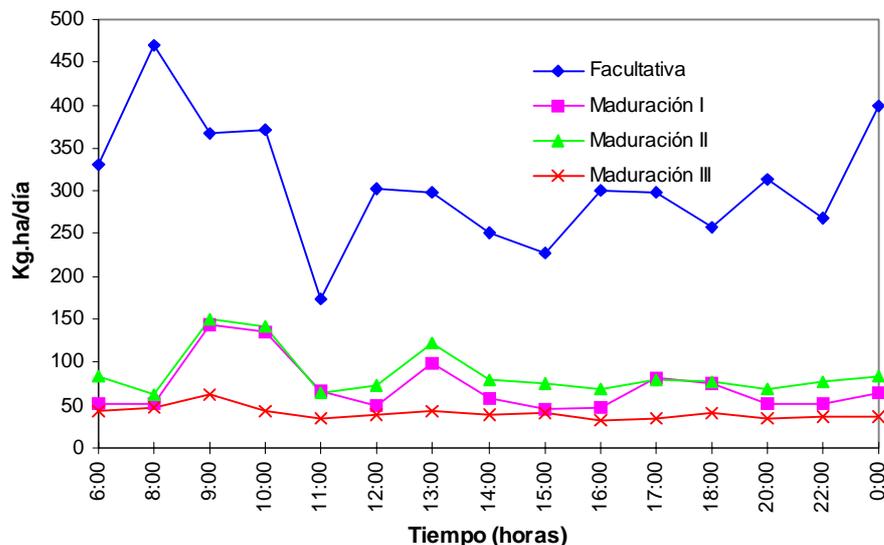




Figura No. 7 Carga superficial aplicada en las lagunas de estabilización



Constantes cinéticas. Se determinaron las constantes cinéticas aplicando el modelo de flujo disperso. En la tabla 1 se pueden observar éstos valores.

**Tabla 1 Constantes cinéticas de remoción de carga orgánica y bacteriana a una temperatura promedio de 20 °C.**

	Anaerobia	Facultativa	Mad. I	Mad. II	Mad. III
K (días <sup>-1</sup> )	0.3	0.15	0.07	0.09	
Kb(días <sup>-1</sup> )		0.3	0.40	0.99	0.26

Los valores obtenidos en este trabajo, fueron aplicados para el diseño del sistema lagunar a escala completa para la granja en estudio. Cabe mencionar que el diseño del sistema lagunar fue realizado utilizando el modelo de flujo disperso y que las eficiencias obtenidas en todo el sistema corresponden a las proyectadas, por lo que el área requerida para la generación actual de efluentes es de 110 metros cuadrados de área superficial para las lagunas sin incluir caminos de acceso y bordos, la profundidad de las lagunas son iguales a las utilizadas en el tren piloto. Las lagunas tienen una relación largo/ancho de 3. De acuerdo a los resultados obtenidos en la época más crítica para el sitio no es necesario la tercera laguna de maduración, ya que el efluente de la segunda cumple con la norma para su reuso en riego agrícola.

## CONCLUSIONES

Debido al alto contenido de sólidos en las aguas residuales de la industria porcícola, se requiere de una separación física, antes de su tratamiento por lagunas de estabilización.

La alta carga orgánica que presenta el agua residual de efluentes porcícolas después de la separación física, requiere de un proceso anaerobio para su degradación (reactor anaerobio de flujo ascendente o laguna anaerobia).

Los resultados en este trabajo indican que el efluente del sistema lagunar en estudio cumple con la Norma Oficial Mexicana para su reuso en agricultura. De acuerdo con lo anterior el esquema recomendado para el tratamiento de efluentes porcícolas es el de separación física, laguna anaerobia, laguna facultativa y dos lagunas de maduración.

Las eficiencias de remoción obtenidas en este estudio son semejantes a las determinadas en el diseño del sistema lagunar .



Los efluentes de granjas porcícolas de traspatio (no tecnificada), presentan cargas menores a la de las granjas tecnificadas debido al poco control en el manejo del agua, lo que ocasiona un mayor consumo de ésta en las actividades propias de la granja.

### **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario #8, de Morelos; México, las facilidades prestadas para la realización de este trabajo.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CNA, IMTA, (1994). Manual de diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Libro II. Proyecto, 3a. Sección, Potabilización y Tratamiento, Tema Tratamiento, Subtema: Lagunas de Estabilización.
2. Escalante Violeta, Rivas A, Moeller G y Gómez A. (1998). Manual de evaluación de lagunas de estabilización. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Comisión Nacional del agua.
3. Pérez Rosario (1997). Porcicultura y medio Ambiente. Memorias del Segundo Seminario de Manejo y Reciclaje de Residuales Porcinos, San Juan del Río; Querétaro.