

USO DE HIDRÓFITAS Y UN SISTEMA ANAEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE RASTRO

Lauraceli Romero-Ortiz, Florina Ramírez-Vives¹, Carlos Álvarez-Silva² y María Guadalupe Miranda-Arce²

Departamento de Biotecnología¹, Departamento de Hidrobiología², División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. San Rafael Atlixco núm.186, Col. Vicentina. CP 09340. Delegación Iztapalapa, DF, México.

RESUMEN

En México, uno de los más graves problemas que afectan al medio ambiente son las descargas de aguas residuales, sobre todo aquellas provenientes de los rastros municipales, ya que contienen altas concentraciones de materia orgánica, proteínas, grasas y nutrientes, entre otros. Debido a las concentraciones altas de contaminantes que presenta el agua residual de rastro, ésta debe ser tratada con reactores anaerobios, que se encargan de la degradación de materia orgánica, concentración de sólidos y grasas principalmente, pero los nutrientes no los remueve totalmente, por eso surge la necesidad de utilizar un tratamiento terciario el cual remueva N y P de este efluente. Dado que las hidrófitas son capaces de absorber estos nutrientes se probaron *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Myriophyllum aquaticum*. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de remoción de amonio, ortofosfatos y nitritos por *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Myriophyllum aquaticum* de agua de rastro previamente tratada con sistemas anaerobios en serie. Los resultados obtenidos demostraron que la mejor hidrófita para remover nutrientes del agua tratada fue *Myriophyllum aqua-*

ticum sobre todo en ortofosfatos y nitratos mientras que *Lemna gibba* para nitratos, con respecto al amonio, las tres especies fueron eficientes en la absorción.

Palabras claves: hidrófitas, agua de rastro, nutrientes.

ABSTRACT

In Mexico one of the most serious problems affecting the environment is wastewater discharges, especially those from municipal slaughterhouses, because they contain high concentrations of organic matter, proteins, fats and nutrients, among other contaminants. Owing to the high concentrations of pollutants contained in this wastewater, it must be treated with anaerobic reactors, which are responsible for the degradation of organic matter, mainly solids and fats. However, nutrients are not completely removed, necessitating a tertiary treatment to remove N and P from this effluent. Because hydrophytes are capable of absorbing these nutrients, we tested the efficiency of *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* and *Myriophyllum aquaticum* at removing nitrates, orthophosphates and ammonium from water previously treated with anaerobic sys-

tems in series. The results showed that the best hydrophyte to remove nutrients from the treated water, particularly the orthophosphates and nitrates, was *M. aquaticum*, whereas *L. gibba* was best for nitrates. All the three species were efficient in absorbing ammonium.

Keywords: hydrophytes, slaughterhouse water, nutrients.

INTRODUCCIÓN

La generación de aguas residuales es una problemática ambiental que causa daños a la salud humana (Miranda *et al.*, 1996) ya que contiene altas concentraciones de contaminantes, como son: sólidos (solución y suspensión), aceites, grasas, metales, compuestos oxidables, pesticidas, materia orgánica, bacterias y virus entre otros (Kelly, 2002). Las aguas residuales están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución (orgánicos e inorgánicos) (Duncan *et al.*, 1990). El agua de la ciudad de México, como la de otras grandes ciudades y municipios, se encuentran a menudo contaminadas y carece de infraestructura de saneamiento para tratar los residuos peligrosos (Kelly, 2002).

Agua residual de rastro

Uno de los más graves problemas que aquejan al medio ambiente son las descargas de aguas residuales provenientes de los rastros. Este tipo de agua contiene concentraciones altas de materia orgánica, grasas, proteínas y nutrientes, entre otros (Rodríguez *et al.*, 2002). El impacto que causan a las aguas superficiales la descarga de las aguas residuales de los rastros sin tratar es destructivo: acaba el oxígeno disuelto, además

de aumentar notablemente la turbidez y favorece el crecimiento excesivo de materia orgánica provocando un crecimiento acelerado de algas y otras plantas verdes, evitando que la luz solar llegue; al disminuir la luz, con lo cual el fitoplancton muere al no poder realizar la fotosíntesis (COFEPRIS, 2005). Debido a la alta concentración de contaminantes orgánicos, esto hace que cada litro de agua residual proveniente de un rastro equivalga a la contaminación aportada por 60 personas (Castañeda *et al.*, 2007). En México existen oficialmente 1000 rastros o mataderos municipales y sólo 25 de ellos cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales (CONAGUA, 2007). Las causas principales de ausencia de tratamiento de las aguas son los costos altos de construcción, operación y mantenimiento, entre otros factores (Balladares, 1998; Gutiérrez *et al.*, 2004; CONAGUA, 2007). Esta agua contiene una gran cantidad de microorganismos patógenos tales como *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholerae* y virus, entre muchos otros; los cuales generan un gran número de enfermedades como fiebre tifoidea, disentería, cólera, hepatitis, etc. (Veall, 1997; Balladares, 1998; Gutiérrez *et al.*, 2004). Los principales contaminantes de las aguas residuales de los rastros y mataderos se originan de las heces, orina, sangre, pelusa, residuos de la carne y grasas, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados (Muñoz, 2005). En el caso de los bovinos y equinos, el aporte de sangre a los efluentes es de 12 litros, para ovinos y porcinos de 1 y 3 litros respectivamente y para aves de 0.05 litros. La separación y recuperación de la sangre es muy importante, ya que es el residuo más contaminante del agua, sin embargo, no es un procedimiento rutinario (Signorini *et al.*, 2006). El nitrógeno presente en el agua resi-

dual de rastro proviene, de manera general, del amonio de la orina y del excremento, la naturaleza del amonio (NH_4) dependerá del pH que presente el agua residual. La sangre es una de las fuentes más importantes y se expresa como nitrógeno total (NT) (Flores, 2007). El fósforo se origina a partir del contenido estomacal no digerido, pero también puede generarse si la sangre se procesa para elaboración de subproductos. El sodio (sal) proviene del excremento, del alimento presente en los estómagos de los animales, así como de los procesos de rendimiento y de encurtido (Signorini *et al.*, 2006). Las aguas residuales de rastro pueden ser tratadas por digestión anaerobia, ya que contienen altas concentraciones de la carga orgánica biodegradable, la alcalinidad adecuada y las concentraciones de fósforo, nitrógeno y micronutrientes para el crecimiento bacteriano (Romero, 2001). Este tipo de agua (agua residual de rastro) contribuye a incrementar la cantidad de nitrógeno y fósforo en el efluente, lo que tiene implicaciones serias ya que un tratamiento biológico, no la remueve totalmente y puede llegar a causar eutrofización. Por este motivo se busca un tratamiento terciario, que puede llevarse a cabo con hidrófitas acuáticas como una alternativa (Rodgers *et al.*, 1978; Benda *et al.*, 1991). Algunas hidrófitas acuáticas, por su capacidad para absorber algunos metales pesados y otros elementos, en medios con alta carga orgánica, permiten purificar en grado alto las aguas contaminadas por la agricultura y la industria (Pedraza, 1994). De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de remoción de amonio, ortofosfatos y nitratos por *Lemna gibba*, *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* del efluente de un sistema anaerobio en serie.

Reactores anaerobios

Los reactores anaerobios son utilizados para tratar efluentes domésticos o industriales con altas cargas orgánicas.

Digestor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodo (UASB) (reactor 1)

La particularidad distintiva de este reactor es la retención de biomasa en su interior sin necesidad de ningún medio de soporte, gracias a la formación de gránulos o “pellets”, lo que lo hace más económico y le da ventajas técnicas sobre otros reactores. Soporta altas cargas orgánicas ($20 \text{ kg DQO/m}^3\text{d}$) y los costos de inversión son más bajos al no requerir un medio de soporte para la adhesión de los microorganismos, la principal limitante del proceso es la formación lenta de los gránulos, sensible a aguas que forman precipitados, riesgo de flotación de los gránulos durante re arranques e inoculaciones.

Reactores anaerobios de película fija adherida (RAPF) (reactor 2)

El proceso de lecho fijo y flujo descendente es similar al de flujo ascendente, una de las diferencias es que el medio usado para la adhesión de la masa bacteriana se acomoda en sentido vertical con espacios grandes entre ellos, en comparación con el flujo ascendente. Gracias a los espacios más grandes hay menos taponamiento (Crites, 2000). En este trabajo se usaron estos dos tipos de reactores.

Hidrófitas acuáticas

La presencia de plantas acuáticas (hidrófitas) como elemento central de la vegetación do-

minante de los grandes lagos de la cuenca hidrográfica en que se encuentra la ciudad de México. Algunas hidrófitas han sido consideradas una plaga debido a su rápido crecimiento ya que invaden rápidamente cuerpos de agua pero se ha descubierto su utilidad en el tratamiento de aguas residuales porque poseen ciertas características, como por ejemplo remover eficientemente nutrientes y contaminantes de dichas aguas. En este estudio las hidrófitas utilizadas fueron *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Myriophyllum aquaticum* por ser de fácil cosecha, crecen sobre la superficie del agua y se encuentran en los canales de Xochimilco.

Características de las hidrófitas acuáticas

Eichhornia crassipes planta que pertenece a la familia Pontederiaceas, su nombre común es lirio acuático. Es una planta libre flotadora que crece abundante en agua dulce y escasamente en agua salobre. Es originaria de América tropical, ahora está naturalizada en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo. Forma importantes masas vegetales que pueden llegar a impedir el paso del agua en canales, su reproducción es vegetativa, se encuentra en aguas lentas y estancadas. Muy variable en tamaño, normalmente alrededor de 3 cm (Lot *et al.*, 2004). *Lemna gibba* pertenece a la familia Lemnaceas, su nombre común es lentejilla de agua. Ésta es la especie más común de los ambientes acuáticos del Valle de México que ha sobrevivido a la contaminación y modificación de su hábitat. Es una especie libre flotadora, que florece en primavera, es muy invasiva debido a que tiene una gran facilidad para reproducirse; su reproducción es vegetativa, es cosmopolita, se encuentra

en aguas lentas o estancadas (Lot *et al.*, 2004). Como agentes descontaminantes son excelentes reductoras de nitrógeno y fósforo en aguas residuales (Hillman *et al.*, 1978). *Myriophyllum aquaticum* pertenece a la familia Haloragáceas, su nombre común es cola de zorro. Es una especie enraizada emergente, es una especie introducida de Sudamérica con fines de ornato, se ha naturalizado en varios sitios de la ciudad de México y sus alrededores desplazando la flora acuática local. Se ve favorecida por descargas de aguas residuales domésticas y se considera una maleza acuática por su excesivo crecimiento vegetativo. Se reproduce exclusivamente en forma vegetativa, se encuentra en aguas lentas y estancadas, es cosmopolita, es muy útil removiendo metales pesados (Lot *et al.*, 2004).

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

El agua residual analizada fue proporcionada por el “Rastro Frigorífico La Paz, S.A. de C.V.” ubicado en la carretera federal México-Puebla Km 21 Los Reyes la Paz, el cual sacrifica ganado vacuno y porcino. El rastro sacrifica tres días a la semana (lunes, miércoles y viernes) reses por las mañanas y cerdos durante el medio día-tarde. El muestreo se realizó durante el periodo comprendido de los meses de diciembre de 2007 a julio 2008 cada mes. El agua residual fue colectada de un registro ubicado dentro de las instalaciones del rastro en el cual captura todas las descargas de las áreas de sacrificio de animales. Fue colectada con una cubeta de plástico, pasándola por un tamiz de malla número 150 con una abertura de 0.150 mm para eliminar sólidos (paja, vísceras, piel, cebo, pelo, etc.). En el laboratorio el agua

residual se mantuvo a 8°C en el refrigerador durante la alimentación de los reactores y para la toma de muestras que se utilizaron en la realización de las determinaciones de los parámetros estudiados.

Seguimiento de los reactores

Se hizo el seguimiento de dos reactores biológicos, uno de tipo UASB de 1700 L (reactor 1) y el otro de película fija de 1580 L (reactor 2) las ventajas de estos sistemas anaerobios o biológicos de cultivo inmovilizado pueden incrementar la eficiencia de los sistemas de tratamiento para que permita mucha más carga orgánica para procesarse por volumen de reactor dado, produce menos sólidos biológicos, presentan alta retención de la biomasa, el crecimiento de los microorganismos no requieren para su mantenimiento altas concentraciones de biocatálisis dentro del reactor, desarrollo de nichos ecológicos o zonas y descensos en la sensibilidad a bajas temperaturas (Flores, 2007); durante un periodo de 193 días, alimentados con agua residual de rastro, con previo tratamiento fisicoquímico con $Al_2(SO_4)_3$ (0.3 g/L). Se analizaron: DQO, amonio, ortofosfatos, nitratos y pH cada ocho días del influente y efluente de los reactores.

Recolecta de hidrófitas

Los ejemplares de *Lemna gibba*, *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*, se colectaron en Xochimilco en un canal secundario cerca del embarcadero de Caltongo, se transportaron en una hielera al laboratorio, se limpiaron a mano y se lavaron con agua corriente para ser liberados de desechos, una vez limpios se colocaron en bandejas de plástico con agua corriente para su accli-

matación durante una semana.

Montaje del bioensayo

En el bioensayo los ejemplares de las hidrófitas (*Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Myriophyllum aquaticum*) se cultivaron por triplicado en bandejas de plástico con una dimensión de 30.5 cm de largo, 15.5 cm de ancho y 10 cm alto; cada una de las bandejas contenía agua de rastro del efluente diluida, el motivo de la dilución es que el efluente contenía altas concentraciones de materia orgánica, grasas, entre otros, que podían alterar los análisis de los nutrientes; se colocó en cada bandeja 50 g de peso fresco de hidrófita con un volumen total de 2 000 ml. Se mantuvo con un fotoperiodo de 24 horas luz, con una intensidad de 127 V y aireación continua, con una temperatura de 20°C. Durante el lapso de 15 días se midió amonio, ortofosfatos y nitratos cada tercer día.

TÉCNICAS ANALÍTICAS

Para determinar la concentración de amonio se utilizó el método colorimétrico de Nessler (APHA, 1992), para evaluar la concentración de ortofosfatos se utilizó el método colorimétrico de ortofosfatos (Contreras, 1994) y para determinar la concentración de nitratos de cada una de las muestra se utilizó la técnica espectrométrica (APHA, 1992).

Análisis estadísticos

Se le aplicó como prueba estadística un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 0.05. A los datos obtenidos se les aplicaron las pruebas estadísticas de normalidad de Lilliefors y homoscedasticidad a continuación, para determinar algún patrón de variación, se evaluaron las diferencias significativas entre las tres

hidrófitas estudiadas y las concentraciones de remoción de nutrientes con base en un análisis de varianza de una vía (Andeva). En todos los casos se utilizó el programa NCSS (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 nos muestra el pH del influente de los reactores biológicos durante un periodo de 193 días, se puede observar que con el tratamiento fisicoquímico (del día 30 al día 116) o sin él (del día 119 al día 130), el pH se mantiene en valores cercanos a la neutralidad.

Del día 0 al 30 no se presentaron resultados porque este periodo consistió en un rearranque de los reactores.

La figura 2 presenta datos de DQO del influente y efluente de los reactores biológicos durante el periodo de 193 días trabajando en forma continua, se alimentó con diferentes lotes de agua residual de rastro con tratamiento fisicoquímico $Al_2(SO_4)_3$ del día 30 hasta el día 116, del día 119 hasta el día 130 se alimentó con un lote de agua residual de rastro sin ningún tratamiento fisicoquímico, donde se puede observar que el aumento en la carga no disminuyó la eficiencia en el reactor pero aumentó la eficiencia de remoción de DQO en el reactor 2. En el día 147 se volvió alimentar con agua residual tratada con el tratamiento fisicoquímico $Al_2(SO_4)_3$; el tratamiento y la eficiencia en el reactor 2 vuelve a disminuir; la disminución puede ser originada por la baja carga orgánica que entra en el reactor 2, ya que, el tratamiento fisicoquímico disminuye considerablemente la DQO y los sólidos en el influente.

La figura 3 presenta la concentración de amonio del influente y efluente de los reactores biológicos durante un periodo de 193 días. El reactor 1 presenta la mayor producción de amonio. La producción de amonio en el reactor 1 es mayor debido a la entrada de proteína que el agua de rastro presenta, que a través de la hidrólisis puede generarse amonio, parte de este amonio es consumido como fuente de nitrógeno por los microorganismos presentes en el segundo reactor.

La figura 4 presenta los resultados de la concentración de ortofosfatos del influente y efluente de los reactores biológicos durante un periodo de 193 días. Se observa que a través del tiempo las concentraciones de este nutriente disminuyen hasta valores cercanos a 20 mg/L, esto se debe probablemente a que los microorganismos presentes tanto en el agua residual como en los reactores lo tomen como un nutriente para su crecimiento.

La figura 5 muestra la remoción de nitratos del influente y efluente de los reactores biológicos durante un periodo de 193 días. Se observa una tendencia similar con la remoción de la DQO, cuando se alimenta el reactor sin tratamiento fisicoquímico aumenta la concentración de NO_3 y disminuye cuando se alimenta el reactor con tratamiento fisicoquímico; esto está relacionado con la cantidad de proteína en el influente.

En la tabla 1 se presentan la remoción de nutrientes en el efluente del agua residual de rastro que resultó estadísticamente significativa con respecto a las tres diferentes hidrófitas $F(3, 8) > 4.07$ ($P = 0.05$). La remoción de amonio del efluente del reactor 2, por las diferentes hidrófitas durante un periodo de 15 días, fue de 98%

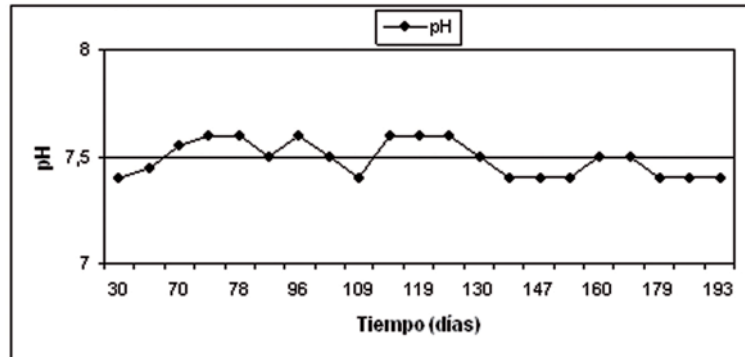


Fig. 1. pH del influente de los reactores biológicos.

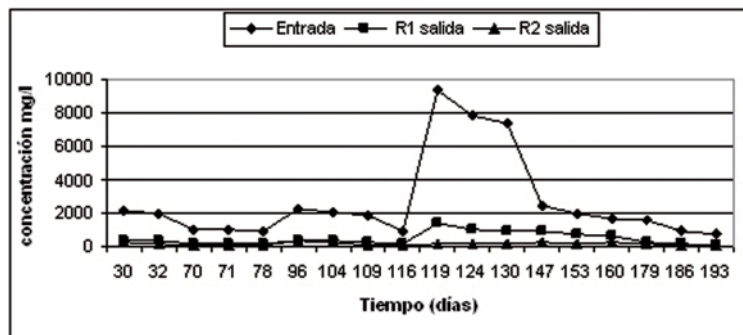


Fig. 2. Remoción de materia orgánica en los reactores biológicos.

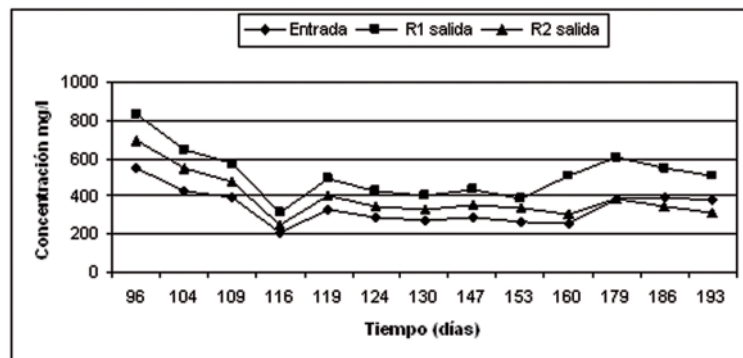


Fig. 3. Producción de amonio en los reactores biológicos.

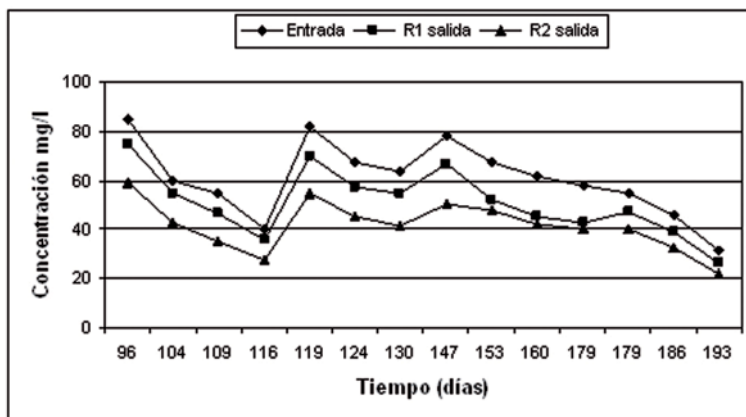


Fig. 4. Remoción de ortofosfatos en los reactores biológicos.

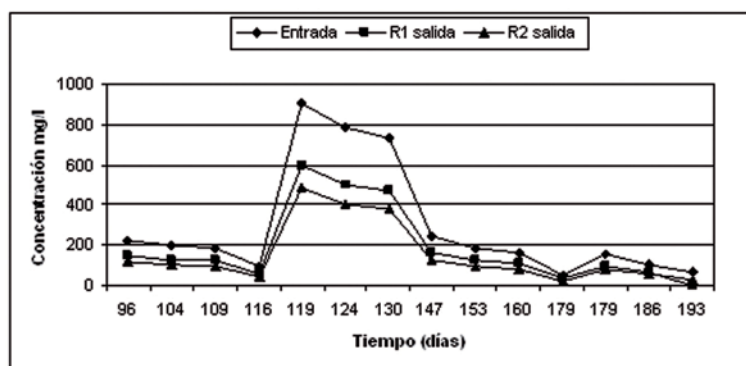


Fig. 5. Remoción de nitratos en los reactores biológicos.

Tabla 1. Contenido de nutrientes en agua del efluente y % de remoción.

Nutrientes	Agua del efluente sin tratar	Agua del efluente tratada con hidrófitas					
	Efluente mg/L	<i>Lemna gibba</i>		<i>Myriophyllum aquaticum</i>		<i>Eichhornia crassipes</i>	
		mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%
Amonio	230	3.5	98	0.0	100	3.6	98
Ortofosfatos	21.5	21.5	0	8	63	21.5	0
Nitratos	11	7.5	32	2	82	11	0

con *Lemna gibba* y de 98% con *Eichhornia crassipes* y de 100% con *Myriophyllum aquaticum*. La remoción de ortofosfatos del efluente del reactor 2, solamente se dio con *Myriophyllum aquaticum*, presentando así una remoción del 63%, ya que *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* presentaron 0% de remoción. Los nitratos del efluente del reactor 2 sólo fueron removidos con *Myriophyllum aquaticum* y *Lemna gibba* en comparación con *Eichhornia crassipes* que no presentó remoción, aun así la mayor remoción para nitratos fue con *Myriophyllum aquaticum* con un 82%. Estos resultados no concuerdan con los de Pedraza (1994), quien reporta que *Eichhornia crassipes* y *Lemna* sp removieron nitratos en un 70% y 99% y fósforo en un 39.5% y 93.3% respectivamente, los resultados que obtuvo fueron diferentes a los de nosotros probablemente porque realizó su bioensayo en el exterior y con el efluente procedente de un biodigestor para tratamiento de los estiércoles de cerdos y ganado bovino. Los resultados que obtuvo Valderrama (2002), en la remoción de nutrientes fue evaluado a escala de laboratorio con un efluente teniendo agua residual doméstica en un periodo de seis días, utilizando *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* con una remoción del 95.5% y 39% y de fósforo 92% y 30% respectivamente, similares a los nuestros. Walstad (2003) probó la capacidad que tiene *Lemna gibba* para remover amonio obteniendo el 50% de remoción durante cinco horas en agua de estanques y acuarios. Campanella (2005) realizó un estudio para la remoción de amonio, nitratos y fósforo utilizando *Eichhornia crassipes* obteniendo 50% de amonio, de fósforo obtuvo 89% y de nitratos 50% de remoción en un humedal artificial. Núñez (2007) utilizando *Lemna*

sp para la remoción de nitratos obtuvo un 18% de remoción.

CONCLUSIÓN

La mayor producción de amonio en el sistema anaerobio de tratamiento de agua residual de rastro fue en el reactor 1.

La mayor remoción de materia orgánica y nitratos en el sistema anaerobio de tratamiento de agua residual de rastro fue en el reactor 1.

La mayor remoción de ortofosfatos fue en el reactor 2.

Para la remoción de nutrientes del efluente la hidrófita más eficiente fue *Myriophyllum aquaticum*.

Podemos concluir que el tratamiento del agua residual de rastro, con la combinación de los dos métodos utilizados tanto el sistema anaerobio como las hidrófitas resultó para mejorar la calidad del agua.

LITERATURA CITADA

- APHA, 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and wastewater*, 17 th ed American Public Health Association, Washington, D.C.
- Balladares, A., 1998. *Rellenos sanitarios y tratamiento de residuos líquidos de mataderos municipales*. CEPIS/OPS/BVS. 150 pp.
- Benda, F. y J. Kouba, 1991. "Chemical Speciation and Bioavailability of Cu (II). Study of ionic Copper (II) and Bis (glycinate) Copper (II) accumulation

- by *Lemna Species*". *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **46**: 466-472.
- Castañeda, B. y C. Marco, 2007. *Tratamiento y aprovechamiento de los efluentes generados en la industria cárnica*. Asociación para Investigación en Tecnologías Apropriadas S.C. pp. 1-10.
- Campanella, M.V., H. Hadad, M. Maine y R. Markariani, 2005. "Efectos del fósforo de un efluente cloacal sobre la morfología interna y externa de *Eichhornia crassipes* (Mart. Solms) en un humedal". *Limnetica*, **24**(3-4): 263-272.
- COFEPRIS Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitario, 2005 "Guía para la administración de rastro y mataderos municipales". México DF, Octubre, 24 pp.
- CONAGUA, 2007. *Sistema Nacional de Información del Agua*. Comisión Nacional del Agua. Semarnat. México. (www.conagua.gob.mx/Conagua/Default.aspx).
- Contreras, F., 1994. *Manual de técnicas hidrobiológicas*. México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Editorial Trillas, 141 pp.
- Crites R, Tchobanoglous G., 2000. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. McGraw-Hill. Bogotá, Colombia. pp. 345-469.
- Duncan, M. y S. Calncross, 1990. *Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura*. Organización Mundial de la Salud. 21 pp.
- Flores M., 2007. *Efecto de los tratamientos fisicoquímicos y biológicos en la digestión anaerobia de aguas residuales de rastro*. Tesis en especialidad en Biotecnología. UAM-Iztapalapa. 9 pp.
- Gutiérrez, A., G. Fernández, P. Martínez, N. Rinderknecht and M. Poggi, 2004. "Slaughterhouse Wastewater Treatment in a Full Scale System with Constructed Wetlands". *Water Env. Res.*, **76**: 334-343.
- Hillman, S. and D. Culley, 1978. "The Uses of Duckweed". *American Scientist*, **66**(4): 442-451.
- Kelly, A. Reynolds, R., 2002. "Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema". *Agua Latinoamericana*, **2**(5): 1-4.
- Lot A., A. Novelo y E. Esparza, 2004. *Iconografía y estudio de Plantas acuáticas de la ciudad de México y sus alrededores*. México DF, p. 206.
- Miranda, M. y K Ilangovan, 1996. "Uptake of lead by *Lemna gibba*: influence on Specific Growth Rate a Biochemical Changes". *Bull. Environm Contam Toxicol.*, **56**: 1000-1007.
- Muñoz, D., 2005. "Sistema de tratamiento de aguas residuales de matadero: Para una población menor de 200 habitantes". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y agroindustrial*. Colombia, **3**(1): 87-98.

- Núñez, Marisel, Carmen H., Cárdenas de Flores, Yoleivis Ramírez, Sandra Rincón, Luisa Saules y Ever Morales, 2007. "Remoción de nitrógeno en aguas residuales a través de la plantas *Typha domingensis* y *Lemna* sp". *AIDIS de Ingeniería y ciencias ambientales e investigación, desarrollo y práctica* Vol. 1, Núm. 2: 198-204.
- Pedraza, G., 1994. "Reciclaje del efluente de origen animal con tres especies de plantas acuáticas (en línea)". *Livestock Research for Rural Development*, 6(1): 12 pp.
- Rodríguez, J., G. Sosa y Y. Garza, 2002. "Bioconversión anaerobia como una alternativa para la remoción de DQO contenido en agua residual del rastro municipal de la ciudad de Saltillo, Coahuila México 2. *Rev. Soc. Química de México*, 2(2): 185-188.
- Romero, J., 2001. *Tratamiento de aguas residuales*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. 1232 pp.
- Rodgers, J., D. Cherry y R. Guthrie, 1978. "Cycling of elements in duckweed (*Lemna perpusilla*) in an ash settling basin and swampy drainage system". *Wat. Res.*, 12: 756-770.
- Signorini, M, S. Civit, M. Bonilla, M. Cervantes, M. Calderón, A. Pérez, M. Espejel, C. Almanza, 2006. *Manual para la evaluación de riesgos de los rastos y mataderos municipales*. 1-62 pp.
- Valderrama, L. T., C. Campos, S. Velandia y N. Zapata, 2002. "Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*Eichhornia crassipes*, *Lemna* sp. y *Limnobium laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminantes fecales en aguas residuales domésticas. *Seminario Internacional sobre Métodos para el Tratamiento de Aguas Residuales*. 193-201 pp.
- Veall F., 1997. "Estructura y funcionamiento de los mataderos medianos en los países en desarrollo". *Producción y Sanidad Animal*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 271 pp.
- Walstad Diana, 2003. *Plantas acuáticas y filtración biológica*. Ashland en Ohio 1-4 pp.