



SEGUIMIENTO DE UN SISTEMA COMBINADO DE TRATAMIENTO DE LÍQUIDOS CLOACALES CON UN REACTOR UASB Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

M.E. Figueroa, M.A. Iribarnegaray, J.D. Cabral, W.A. Tejerina, L. Seghezzo¹ y C.M. Cuevas.

Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación-INENCO, Laboratorio de Estudios Ambientales, A4402FDC Salta.
Tel.: 0387-4255516; Fax: 0387-4255483; Email: lucas@unsa.edu.ar

RESUMEN

Se estudia el comportamiento de un sistema combinado de tratamiento de líquidos cloacales, de escala piloto, compuesto por un reactor UASB y lagunas de estabilización (tratamiento terciario) durante aproximadamente 800 días de operación. Se determinó la remoción de materia orgánica en el sistema y se compara con resultados previos obtenidos con el sistema compuesto por dos reactores UASB – lagunas. La remoción de materia orgánica media en el Reactor UASB fue de aproximadamente 72%, con una concentración de salida promedio de 100,6 mg/L mientras que la remoción total en el Sistema Combinado fue del 73% a lo largo de toda la experiencia. El sistema combinado Reactor UASB- Lagunas es una opción atractiva para el tratamiento de líquidos cloacales en regiones subtropicales.

Palabras clave: líquidos cloacales, lagunas de estabilización, reactor UASB, sistema combinado

INTRODUCCION

La composición de las aguas residuales domésticas ha cambiado con la entrada en el mercado de una serie de productos nuevos, tales como detergentes sintéticos y otros. Por consiguiente para tratar las aguas residuales domésticas de una forma óptima, se requiere modificar el enfoque tradicional, aplicando nuevas tecnologías, nuevos procesos y en general nuevas líneas de tratamiento (Ramalho, 1996).

El tratamiento de líquidos cloacales en reactores UASB (reactores anaeróbicos de flujo ascendente y manto de lodos) combinado con lagunas de estabilización como tratamiento terciario, fundamentalmente para la remoción de microorganismos patógenos es una alternativa eficiente en zonas templadas (Seghezzo *et al.*, 2001), además de ser una alternativa económicamente muy aceptable por sus bajos costos de operación y mantenimiento y la posibilidad de disponer de biogas como uno de los subproductos del proceso. En la ciudad de Salta se han realizado experiencias exitosas de tratamiento de líquidos cloacales en reactores UASB a escala piloto (Castañeda *et al.*, 2000; Seghezzo *et al.*, 2002; Trupiano *et al.*, 2002), también se evaluó la puesta en marcha y operación de un sistema combinado de tratamiento de líquidos cloacales con dos reactores UASB en serie y lagunas de estabilización (Iribarnegaray *et al.*, 2002). En dicho trabajo se demostró que el efluente de la primera etapa anaeróbica cumplió con las especificaciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) establecidas para volcamiento, por lo que la segunda etapa anaeróbica sería innecesaria bajo las condiciones locales. En este trabajo se estudia el comportamiento de un sistema compuesto por un solo reactor UASB y lagunas de estabilización durante aproximadamente 800 días de operación, desde octubre de 2002 hasta fines de 2004.

Los objetivos del presente trabajo son: 1) Determinar la remoción de DQO del sistema anaeróbico – aeróbico; 2) Comparar el comportamiento del mismo con el sistema anterior (UASB - UASB - lagunas de estabilización) 3) Evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización en el nuevo sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema estudiado consiste en un reactor UASB de 3000 litros de capacidad, seguido de un sistema de 5 lagunas de estabilización (LDE) en serie con flujo pistón, instalado en la Planta Depuradora de Líquidos Cloacales (PDLC) de la ciudad de Salta, dependiente de la empresa *Aguas de Salta S.A.*

La Figura 1 muestra un esquema del sistema a escala piloto evaluado. El líquido influente al sistema fue sometido a un tratamiento primario consistente en rejas para la retención de sólidos gruesos y desarenador para la remoción de arenas. El reactor UASB, las lagunas de estabilización y el gasómetro fueron construidos de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV). El gas se midió en medidores domésticos de gas natural (Schlumberger Gallus 2000). La medición del gas acumulado se realizó automáticamente a través de electroválvulas que se accionan cuando el gasómetro se llena o se vacía. El reactor fue inoculado con lodo anaeróbico procedente de un reactor UASB por lo que la puesta en marcha fue despreciable.

¹ Autor a quien debe enviarse la correspondencia.

El diseño de las lagunas de estabilización, en este caso de *maduración*, se realizó considerando que el efluente debe cumplir con el límite máximo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para riego irrestricto (WHO, 1989), valor que se considera aceptable para volcamiento de líquidos cloacales tratados en cursos de agua de la Provincia de Salta (SeMADeS, 2001). Los valores de las constantes cinéticas para el dimensionamiento fueron tomados de von Sperling (1996) y Liberal et al. (1998). La alimentación del reactor y las lagunas se realizó con bombas peristálticas Watson Marlow (modelos 313 S y 701 I/R). Un detalle de los Tiempos de Retención Hidráulica (TRH) promedio aplicados a las diferentes unidades del sistema para el periodo evaluado, se observa en la Tabla 1.

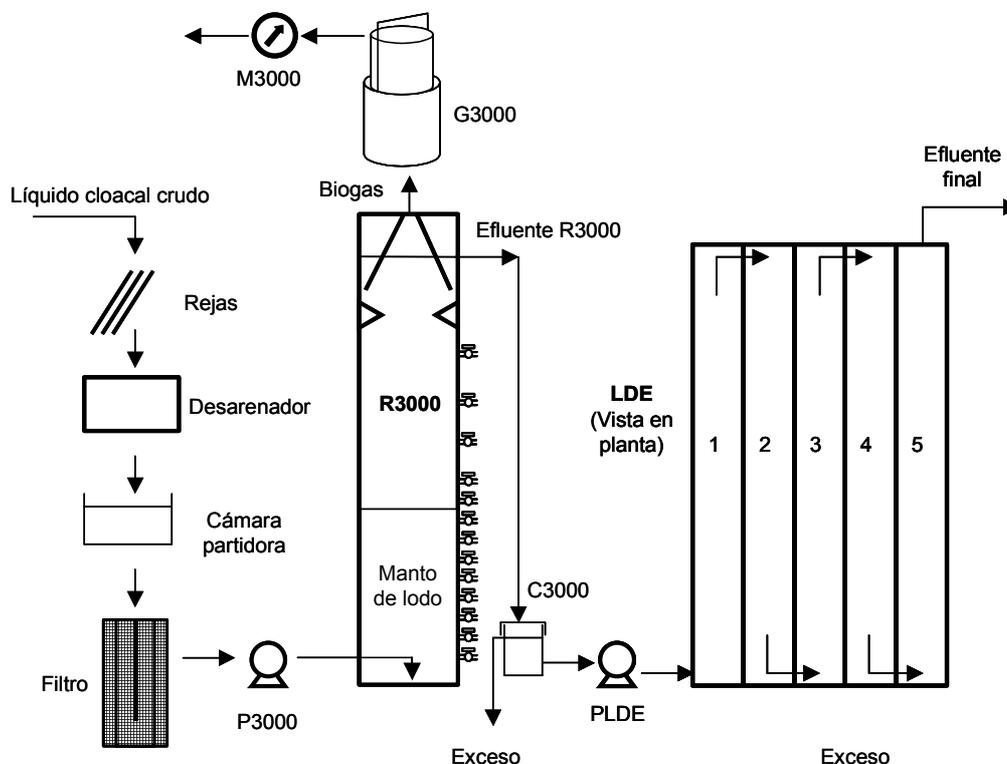


Figura 1. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento. R3000: reactor UASB. Dimensiones: altura (h) = 3.95 m; diámetro (d) = 1 m; volumen (V) = 3.102 m³; LDE = Lagunas de Estabilización (1-5). Dimensiones: largo = 3 m; ancho = 0.5 m; profundidad = 0.94 m; V = 1.4 m³ cada una; P3000 y PLDE = bombas peristálticas; C3000 = contenedores intermediarios (V = 10 L); G3000 = gasómetros; M3000 = medidores de gas.

Año	Días	R1	LDE
		Media (h) ± IC	Media (d) ± IC
2002	0-76	6,10 ± 0,5	18,8 ± 0,2
2003	77-434	5,54 ± 1,4	15,9 ± 2,6
2004	435-798	5,11 ± 0,8	19,3 ± 0,2

Tabla 1. Periodos experimentales y TRH aplicados. IC = Intervalos de Confianza ($\alpha = 0.05$); LDE = Lagunas de Estabilización.

La temperatura ambiente y la temperatura del líquido se midieron en distintas partes del sistema con un termómetro digital marca Keithley. Una vez por semana, personal de *Aguas de Salta S.A.* extrajo muestras compuestas (500 mL cada 3 h durante 24 h) de los líquidos de entrada y salida de cada unidad para su análisis físico-químico y biológico. Los análisis se realizaron de acuerdo al *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995) y mediante micro-métodos HACH®. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA) ubicado en el Departamento de Física, dependiente del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA) y del Instituto de Investigación en Energía No Convencional (INENCO). Las muestras se mantuvieron a 4° C hasta su análisis. El nivel del manto de lodos se midió semanalmente a través de una serie de canillas de muestreo ubicadas a lo largo del reactor.

RESULTADOS

A largo de la experiencia se permitió que la altura del manto de lodo en el reactor alcanzara valores mayores que los recomendados (Gutiérrez M. et al, 2001), lo que incidió para que la concentración de DQO final fuera mayor que en la

experiencia anterior (Iribarnegaray, 2002) y haya mayor producción de espuma en la parte superior. Los resultados de los análisis físico- químicos obtenidos durante el periodo de estudio se detallan en la Tabla 2.

Parámetros	Punto de muestreo		
	Influyente R1 (Media ± IC)	Efluente R1 (Media ± IC)	Efluente LDE (Media ± IC)
Temperatura (°C)	21,6 ± 0,4	20,9 ± 0,6	18,6 ± 1,1
pH	7,61 ± 0,05	7,81 ± 0,06	8,33 ± 0,11
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	164,5 ± 6,6	175,1 ± 3,6	123,3 ± 7,2
Ácidos Grasos (mg CaCO ₃ /L)	23,9 ± 2,2	22,6 ± 4,2	18,9 ± 1,7
Sólidos Suspendidos (mg/L)	265,9 ± 20,1	71,8 ± 7,6	69,9 ± 9,4
Conductividad (µS/cm)	0,7 ± 0,01	0,7 ± 0,01	0,5 ± 0,01
Sólidos Disueltos Totales (g/L)	0,3 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,7 ± 0,85
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	359,0 ± 26,8	100,6 ± 9,8	98,4 ± 10,9
Sólidos Sedimentables 10' (mL/L)	5,5 ± 0,56	0,2 ± 0,04	0,4 ± 0,26
Sólidos Totales (g/L)	0,741 ± 0,053	0,425 ± 0,023	0,447 ± 0,029
Sólidos Volátiles (g/L)	0,330 ± 0,025	0,165 ± 0,024	0,187 ± 0,025
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	229 ± 88	28,3 ± 6,0	35,0 ± 7,9
Sólidos Suspendidos Volátiles (mg/L)	149 ± 44,1	11,8 ± 4,6	12,0 ± 5,1

Tabla 2. Resultados promedios de la operación del sistema durante todo el período experimental, ($\alpha = 0,05$).

El efluente de las lagunas tuvo una concentración promedio de DQO de 98,4 mg/L, prácticamente la misma que en la experiencia anterior que fue de 94,1 mg/L (Iribarnegaray et al., 2002), a pesar de recibir un influente con una concentración mayor de materia orgánica, lo que demuestra la capacidad amortiguadora en esta etapa del tratamiento.

En el reactor se evidencia alta capacidad de retención de sólidos, como se muestra en la tabla N° 3

Parámetro	%Remoción
Sólidos Totales	42
Sólidos Volátiles	50
Sólidos Suspendidos Totales	88
Sólidos Suspendidos Volátiles	92

Tabla N° 3 . Porcentaje de remoción de los sólidos en el reactor UASB

En las Figuras 2 y 3 se observa la evolución de la remoción de DQO en el reactor y en el sistema combinado durante toda la experiencia.

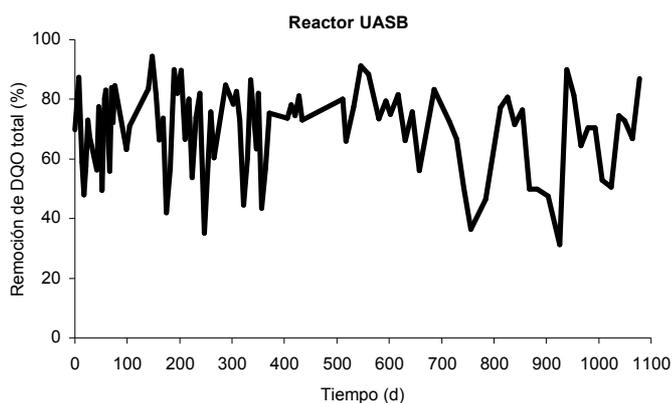


Figura 2. Evolución de la remoción de DQO en el reactor UASB durante el periodo de seguimiento.

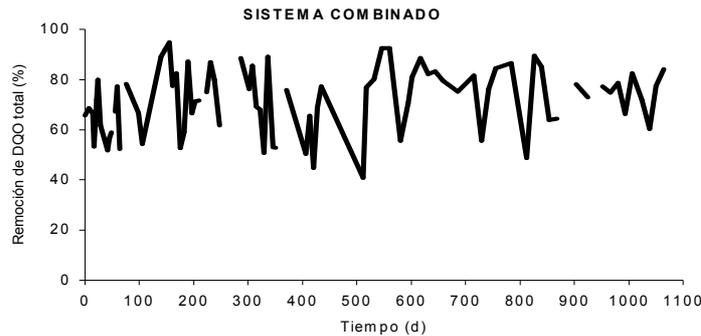


Figura 3. Evolución de la remoción de DQO en el Sistema Combinado durante el periodo de seguimiento.

La remoción de materia orgánica media en el reactor fue de aproximadamente 72 %, con una concentración de salida promedio de 100,6 mg/L. y en el Sistema Combinado, calculada a lo largo de toda la experiencia, fue de 73 %. Los valores de DQO de salida de ambas etapas cumplen con la normativa vigente. En particular, las lagunas muestran baja remoción, en términos de DQO. Ello se debe al aporte de materia orgánica por la formación de algas, lo que por otra parte es importante para el tratamiento terciario (remoción de patógenos, Liberal et al., 1998) permitiendo que en definitiva el efluente final del sistema cumpla con las normas de volcamiento a cuerpos de agua naturales (SeMaDeS, 2001) y municipal en vigencia (Ordenanza 10.438/00 de la Municipalidad de Salta). La producción promedio de gas fue de $696 \pm 16,6$ L/día.

CONCLUSIONES

- El Sistema Combinado de tratamiento de líquidos cloacales compuesto por un reactor UASB y Lagunas de Estabilización, de escala piloto, mostró una remoción de DQO promedio de 73%, para Tiempos de Retención Hidráulicos aproximados de 6 h en el reactor UASB y de 15 a 20 días en las Lagunas de Estabilización, durante un periodo operativo de 800 días, aproximadamente.
- El Reactor UASB, aún operando con alturas de lodos mayores que la recomendada, mostró alta remoción de materia orgánica y sus valores de concentración a la salida (DQO = 100,6 mg/L) cumplen con la normativa vigente.
- La concentración de DQO media a la salida de lagunas fue de 98,4 similar a la del Sistema Combinado estudiado anteriormente (media 94,1), no obstante que el influente fue de mayor concentración que en este último, resultados que demuestran una muy buena capacidad amortiguadora por parte de las lagunas.
- Si bien hay un aumento en la concentración de DQO en las lagunas debido a la producción de algas, importante para la remoción de patógenos, el efluente final del Sistema Combinado cumplió con las normas de volcamiento para cuerpos de agua naturales.
- Los resultados muestran que el Sistema Combinado es una opción atractiva para el tratamiento de líquidos cloacales en regiones subtropicales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Universidad de Wageningen (Holanda), la Fundación Holandesa para el Fomento de la Investigación Tropical (WOTRO), la Fundación Internacional para la Ciencia (IFS, Suecia), Aguas de Salta S.A., y el +Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa). Los medidores de gas fueron provistos por Gasnor S.A.. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA) dependiente del CIUNSa y del INENCO (Instituto de Investigación en Energía No Convencional).

BIBLIOGRAFIA

- Castañeda M; Seghezzo L; Cuevas C. "Evaluación de la factibilidad de utilización de reactores UASB para el tratamiento de líquidos cloacales en Salta, Argentina." *Avances en Energías renovables y Medio Ambiente* 4 (2) 625-629 (2000).
- Gutiérrez, M; Seghezzo, L; Trupiano, A; Cuevas, C. 2001 Efecto de la descarga de lodo y el tiempo de retención hidráulica en la remoción de sólidos suspendidos en un reactor UASB. *Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, ASADES 2001.
- Iribarnegaray, M; Figueroa, M.E; Arena, A.N; Cabral, J.D; Tejerina, W; Gutierrez, M; Da Silva, A; Todd, P.G; Trupiano, A; Liberal, V; Seghezzo, L y Cuevas, C. (2002). Puesta en marcha y operación de un sistema combinado de tratamiento de líquidos cloacales con reactores UASB y lagunas de estabilización
- Liberal V; Cuevas C; Trupiano A. "Determinación de constantes cinéticas en lagunas de estabilización de salta". 26° Congreso Argentino Interamericano de Ingeniería Sanitaria, Lima, Perú. (1998).
- Ramallo R. S. (1996) Tratamiento de Aguas Residuales. Editorial Reverté .Barcelona.

- Seghezzeo, L., Trupiano, A.P., Liberal, V. y Cuevas, C.M. (2001). Planta piloto para el tratamiento anaeróbico-aeróbico de líquidos cloacales en Salta, Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, ASADES 2001.
- Seghezzeo L.; Guerra R; González S; Trupiano A; Figueroa E; Cuevas C; Zeeman G; and Lettinga G. "Removal efficiency and methanogenic activity profiles in a pilot – scale UASB reactor treating settled sewage at moderate temperatures". *Water Sci. and Technol*; 45, 243-248. (2002).
- SeMADeS (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Salta) (2001). Resolución N° 011.
- Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995). 19th Edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF). Eaton, A.D., Clesceri, L.S. y Greenberg, AE., Editores. APHA, AWWA, WEF. Washington DC, USA.
- Trupiano, A.P., Seghezzeo, L., Liberal, V., Gutiérrez, M.A., da Silva Wilches, A.C., Iribarnegaray, M., Guerra, R.G., Arena, A., Todd, P.G., Figueroa, M.E., Cuevas, C.M., Zeeman, G. y Lettinga, G. (2002). Tratamiento de líquidos cloacales en reactores UASB y lagunas de estabilización. 12° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente, (AIDIS Argentina), Buenos Aires, 8-10 de mayo 2002.
- Ordenanza 10.438 /00. Municipalidad de Salta
- Von Sperling M. (1996). "Principios do tratamento biológico de águas residuárias". Volume 3, Lagoas de estabilizacáo, Sanitary and Environmental Engineering Department – DESA, Federal University of Minas Gerais, Brazil. En portugués.
- WHO (World Health Organisation) (1989). *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. Technical Report Series 778. Ginebra, Suiza.

ABSTRACT

The behavior of an anaerobic- aerobic Combined System for sewage treatment, pilot plant size, was studied for an operating period of nearly 800 days. The system, made up by one UASB reactor and stabilization ponds in series, was compared with another system of two UASB reactors and ponds previously studied, measuring the removal of organic matter (as % of removed COD) of the whole system and its components. In the UASB Reactor the average COD removal was nearly 72% and average COD effluent concentration was 100,0 mg /L, while in the whole Combined System COD removal was 73% during all the operating period. The Combined System UASB Reactor- Stabilization Ponds constitutes an attractive option for sewage treatment in subtropical regions

Key words: sewage treatment, stabilization ponds, UASB reactor, combined system