

TRATAMIENTO DE LIQUIDOS CLOACALES PRE-SEDIMENTADOS EN UN REACTOR UASB (REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE Y MANTO DE LODOS) EN REGIONES SUBTROPICALES

Silvia M. González, Raquel G. Guerra, Aníbal P. Trupiano, María Laura Castañeda, María E. Figueroa, Lucas Seghezzeo y Carlos M. Cuevas.

Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación-INENCO, Laboratorio de Estudios Ambientales, Buenos Aires 177, 4400 Salta, Argentina. Email: lucas@unsa.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se describe un año de operación de un reactor UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y Manto de Lodos) a escala piloto (500 L) para el tratamiento de líquidos cloacales pre-sedimentados. La sedimentación de sólidos tuvo lugar en un sedimentador primario convencional. El sistema opera desde 1995 en la ciudad de Salta, Argentina, y es la primera experiencia de tratamiento anaeróbico de líquidos cloacales en el país. El clima de la región es definido como *subtropical con estación seca* con una temperatura media ambiente de 16,5°C. Lodo cloacal digerido fue utilizado como inóculo. Un manto de lodo anaeróbico granular se desarrolló en el reactor. La temperatura media del influente fue 21°C. La concentración media en el líquido cloacal crudo y en el influente del reactor fue de 228 y 152 mgDQO/L (DQO = Demanda Química de Oxígeno), respectivamente. El reactor UASB removió más del 50% de la DQO del líquido cloacal presedimentado. Una eficiencia de remoción de DQO de 68% se alcanzó en el sistema considerado (Sedimentador Primario + Reactor UASB). La concentración del efluente del reactor fue de 72 mgDQO/L, cumpliendo satisfactoriamente con las normas propuestas de volcamiento para la ciudad de Salta (125 mgDQO/L). Se evaluó el efecto del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) sobre la eficiencia de remoción de materia orgánica, como DQO. Se aplicaron 5 distintos TRH: 3, 4.4, 6, 7 y 9 h. El tiempo mínimo de aplicación de cada TRH fue de 30 días, a los efectos de asegurar condiciones de estado estacionario. La máxima remoción de DQO alcanzada fue de 63% para un TRH de 6 h. La actividad metanogénica específica promedio del manto de lodo fue 0.11 gDQO-CH₄/gSSV.d (gramos de CH₄ producido expresado como DQO, por gramo de Sólidos Suspendidos Volátiles del lodo, por día). El sistema de tratamiento estudiado o, eventualmente, un sistema de dos UASB en serie podría ser una buena alternativa para el tratamiento de líquidos cloacales en condiciones de temperatura moderada.

PALABRAS CLAVE

Líquido cloacal presedimentado; reactor UASB; tratamiento anaeróbico; remoción de sólidos.

INTRODUCCIÓN

El aumento de conciencia de que el tratamiento de efluentes es de vital importancia para evitar la contaminación ambiental, resultó en la necesidad de desarrollar procesos que combinen una alta eficiencia de tratamiento con bajos costos de construcción y mantenimiento (Van Haandel y Lettinga, 1994). El UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y Manto de Lodos) aparece entonces como una opción viable para el tratamiento de efluentes orgánicos líquidos. El concepto de reactor UASB fue desarrollado en los años 70 por Lettinga y colaboradores (Lettinga et al., 1980; Lettinga y Vinken, 1980) y es ahora aplicado mundialmente para el tratamiento de efluentes cloacales en países de clima tropical (Seghezzeo et al., 1998). En climas templados y subtropicales no ha sido utilizado, principalmente por limitaciones de temperatura, la cual afecta la tasa de hidrólisis del material particulado y reduce la eficiencia del tratamiento. En Argentina no existen antecedentes de tratamiento anaeróbico de líquidos cloacales. La principal característica de un reactor UASB, además del flujo ascendente, es la formación de un manto de lodo floculento o granular con buena capacidad de sedimentación, en donde se realiza la actividad biológica. La granulación es un proceso que ha sido citado en pocas oportunidades durante el tratamiento de líquidos cloacales (Barbosa y Sant'Anna, 1989).

A temperaturas moderadas, la presencia de sólidos en suspensión constituye un inconveniente para el tratamiento anaeróbico. Para superar este inconveniente, se han propuesto sistemas anaeróbicos en dos etapas. En la primera etapa se retienen e hidrolizan parcialmente los sólidos y en la segunda se degradan los compuestos solubles presentes en el líquido, y aquellos generados durante la primera etapa. El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) es uno de los parámetros más importantes en todo sistema de tratamiento de aguas residuales. En el caso de los líquidos cloacales, donde la presencia de sólidos en suspensión es considerable, existe un tiempo de retención óptimo que permite una máxima remoción de sólidos y materia orgánica expresada como Demanda Química de Oxígeno (DQO). Los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

1. Estudiar la eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor UASB durante el tratamiento de líquidos cloacales presedimentados en un sedimentador primario convencional.
2. Evaluar el efecto del tiempo de retención hidráulica sobre la eficiencia de remoción de materia orgánica.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo fue llevado a cabo en la ciudad de Salta, cuyo clima está definido como subtropical con estación seca. La temperatura media ambiente es de 16,5°C (Arias y Bianchi, 1996). El proyecto de investigación se llevó a cabo en un reactor UASB a escala piloto instalado en la planta depuradora de líquidos cloacales, ubicada en la zona sur de la ciudad de Salta. Las dimensiones del reactor son las siguientes: diámetro: 0.50 m; altura de líquido: 2.55 m; volumen útil: 500 L; área transversal: 0.196 m². El cuerpo principal del reactor y el dispositivo interno de separación de fases fueron construidos con poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y las cañerías empleadas para las conexiones de entrada y salida y el distribuidor del líquido influente son de PVC estándar de ½ o ¾ de pulgada. El reactor cuenta con 15 válvulas esféricas de PVC para la toma de muestras, distribuidas a lo largo del reactor y espaciadas 0.15 m entre sí. El líquido influente es sometido previamente a un tratamiento primario que consiste en el pasaje a través de rejas, desarenadores y sedimentadores primarios. En la Figura 1 se pueden apreciar detalles del reactor.

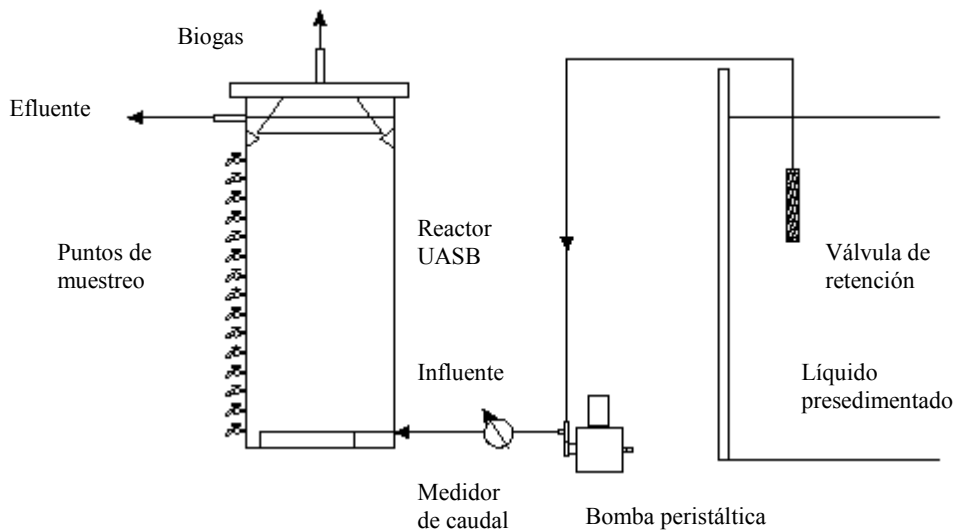


Figura 1. Diagrama esquemático del reactor UASB utilizado en el presente trabajo.

Para la dosificación del influente se utilizó una bomba peristáltica Watson Marlow 601 F/R Close couple (rango de caudal: 6-960 L/h) para operar caudales nominales de 50 a 500 L/h (Seghezzi et al., 2000). La temperatura del líquido fue monitoreada de manera continua con un termógrafo Novasen 3752-5-S-C (rango de temperatura: 0-50°C). Desde agosto de 1999 a agosto de 2000 la temperatura media del líquido cloacal presedimentado (influente del reactor) fue de 21.25°C y la del reactor (salida) fue de 21.34°C. La producción de gas se midió a través de un medidor de gas doméstico Galileo MGD G2D1. El caudal se midió con un medidor de caudal marca Kobold KSK 3500 (rango de medición: 0.83-8.3 L/min). La caracterización de los líquidos cloacales y de los efluentes del reactor, se realizó a través del análisis físico-químico de muestras compuestas (1 litro cada 2 h durante 24 h), tomadas los días lunes, miércoles y viernes, por personal entrenado de la empresa Aguas de Salta S.A. prestataria del servicio de agua potable y saneamiento en la Provincia. Las técnicas usadas en el laboratorio han sido tomadas del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 1995) y adaptadas a las condiciones del laboratorio. También se utilizaron los micro métodos de HACH®. Los parámetros medidos y la frecuencia de análisis se indican en la Tabla 1.

Se realizaron ensayos de Actividad Metanogénica Específica, expresada como $\text{gDQO-CH}_4/\text{gSSV.d}$ (gramos de metano en términos de demanda química de oxígeno por gramo de sólidos volátiles en suspensión por día) en el lodo anaeróbico desarrollado en el reactor, siguiendo las normas del Departamento de Tecnología Ambiental de la Universidad de Wageningen en Holanda (DET, 1994).

Parámetros	Frecuencia
pH	3 veces por semana
DQO total (mg/L)	3 veces por semana
DQO filtrada papel (mg/L)	1 vez por semana
DQO filtrada membrana (mg/L)	1 vez por semana
Sólidos sedimentables (10y 2 h) (mL/L)	1 vez por semana
Sólidos totales y volátiles sin filtrar (g/L)	1 vez por semana
Sólidos totales y volátiles filtrados papel (g/L)	1 vez por semana
Sólidos totales y volátiles filtrados membrana (g/L)	1 vez por semana
Sólidos Suspendidos sin filtrar (SS HACH®) (g/L)	1 vez por semana
Alcalinidad (mgCaCO_3/L a pH 4)	1 vez por semana
Ácidos grasos volátiles (mg/L)	1 vez por semana
Conductividad (CND) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1 vez por semana
Total de Sólidos Disueltos (TDS HACH®) (g/L)	1 vez por semana
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5) total (mg/L)	1 vez por semana

Tabla 1. Parámetros determinados en líquido cloacal crudo, influente y efluente del reactor UASB, sobre muestras compuestas (1 L cada 2 h, durante 24 h, lunes, miércoles y viernes).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El reactor operó satisfactoriamente, tanto en verano como en invierno, manteniendo una temperatura estable de operación de 21°C , sin registrarse una disminución significativa de temperatura con respecto a la entrada. Durante el período considerado, el reactor mostró una eficiencia promedio de remoción de DQO de 52.9%, a un TRH medio de 5.06 h. La eficiencia promedio del sedimentador fue de 30.7%, con un TRH de aproximadamente 2 h. El sistema completo (Sedimentador + reactor UASB) alcanzó una eficiencia promedio de remoción de DQO de 67.7%. La concentración de DQO medida en el líquido crudo, y en el influente y efluente del reactor se pueden observar en la Figura 2. La concentración media del efluente del reactor fue de 71.62 ± 4.61 mgDQO/L, cumpliendo satisfactoriamente con las normas propuestas de volcamiento para la ciudad de Salta (125 mgDQO/L). De acuerdo a Wang (1994), un reactor anaeróbico de flujo ascendente es más eficiente que un sedimentador primario convencional en la remoción y degradación de sólidos, por lo que un sistema de dos etapas UASB – UASB sería, en principio, más eficiente que un sistema Sedimentador Primario – UASB como el estudiado.

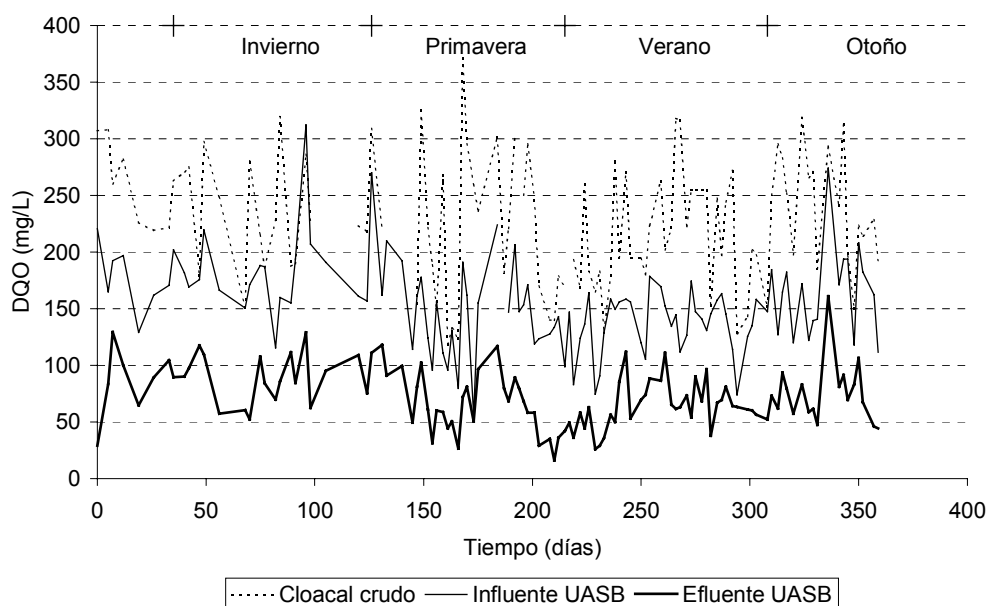


Figura 2. Valores diarios de DQO (mg/L) en el líquido cloacal crudo y presedimentado (influente del reactor UASB) y en el efluente del reactor. El efluente cumple satisfactoriamente con las normas propuestas de volcamiento para la ciudad de Salta (125 mgDQO/L).

Algunas características del líquido cloacal crudo, del influente (líquido cloacal presedimentado) y efluente del reactor UASB se muestran en la Tabla 2.

Parámetro	Líquido cloacal crudo	Influente	Efluente
pH	7.63 ± 0.096	7.63±0.064	7.64±0.072
Temperatura	---	21.25 ± 1.37	21.34 ± 1.69
DQO Total	227.52 ± 11.85	152.10 ± 7.49	71.62 ± 4.61
Sólidos totales	---	---	40± 30
Alcalinidad	167.62 ± 59.03	159.39 ± 58.09	170.91 ± 60.04
Ácidos grasos volátiles	27.81 ± 13.80	27.70 ± 15.44	24.71 ± 12.09

Tabla 2. Características del líquido cloacal crudo, influente (líquido presedimentado), y efluente del reactor UASB durante los últimos doce meses de operación. Intervalos de confianza construidos con un nivel de significación $\alpha = 0.05$.

Para evaluar el efecto del TRH sobre la eficiencia de remoción de materia orgánica, se probaron 5 distintos TRH: 3, 4.4, 6, 7 y 9 h. En la Figura 3 se puede ver la remoción de DQO promedio alcanzada (%) en función de los distintos TRH aplicados. El tiempo mínimo de aplicación de cada TRH fue de 30 días, a los efectos de asegurar condiciones de estado estacionario. La máxima remoción alcanzada fue de 62.65% para un HRT de 6 h. Como se desprende de la Figura 3, TRH mayores o menores inciden negativamente sobre la eficiencia de remoción de materia orgánica.

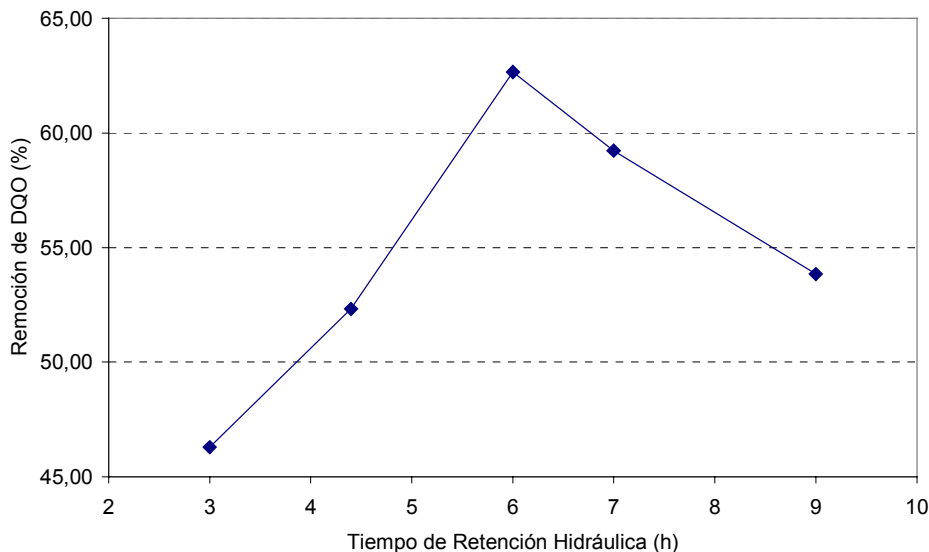


Figura 3. Eficiencia de remoción de materia orgánica (% DQO) en función del tiempo de retención hidráulica (TRH).

Se observó la formación de gránulos en el reactor. El lodo granular creció a una tasa de 8.5 cm por mes, desde el inicio de las mediciones de actividad, en el mes de diciembre de 1999. Estudios preliminares de la distribución del tamaño de partículas indicaron que más del 30% de los gránulos tenía un diámetro mayor de 1mm. Se detectaron gránulos de más de 5 cm, con tendencia a flotar, formados aparentemente por la agregación de los más pequeños (Seghezzi et al., 2000). La Actividad Metanogénica Específica promedio del manto de lodos fue de 0.11 ± 0.03 gDQO-CH₄/gSSV.d ($\alpha=0.05$)

CONCLUSIONES

El reactor UASB removió más del 50% de la DQO de un líquido cloacal presedimentado de baja concentración, bajo condiciones de clima subtropical. El efluente cumple satisfactoriamente con las normas de volcamiento propuestas para la ciudad de Salta (125 mgDQO/L).

Una eficiencia de remoción de DQO de aproximadamente 70% se alcanzó con un sistema consistente en un Sedimentador Primario y un reactor UASB en serie. Este sistema o, eventualmente, un sistema de dos UASB en serie podría ser una buena

alternativa para el tratamiento de líquidos cloacales en condiciones de temperatura moderada. La factibilidad económica del uso de reactores UASB para el tratamiento de líquidos cloacales bajo las condiciones climáticas de la región será estudiada próximamente, en cooperación con la empresa Aguas de Salta S.A..

Lodo anaeróbico granular se desarrolló de manera espontánea en el reactor UASB. Más del 30% del lodo del reactor era granular (diámetro > 1 mm). Se observaron gránulos de hasta 5 cm de diámetro. Se observó flotación de gránulos de gran tamaño. La actividad metanogénica específica promedio del lodo fue de 0.10 gDQO-CH₄/gSSV.d.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA), en el marco del Proyecto N°755 del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA). Las investigaciones son financiadas por la Universidad de Wageningen (Holanda), la Fundación Holandesa para el Avance de la Investigación Tropical (WOTRO), la empresa Aguas de Salta S.A. y el CIUNSA. El LEA depende del CIUNSA y del INENCO (Instituto de Investigación en Energía No Convencional). Se agradece al personal de Aguas de Salta S.A. por la toma de muestras compuestas y el transporte de dichas muestras hasta el laboratorio.

REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF) (1995). *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition. Eaton, A.D., Clesceri, L.S. and Greenberg, AE., Eds. APHA, AWWA, WEF. Washington.
- Arias, M. y Bianchi, A.R. (1996). Estadísticas climatológicas de la Provincia de Salta. *Dirección de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Provincia de Salta. Estación Experimental Agropecuaria Salta, INTA*. 189 p.
- Barbosa, R.A. y Sant'Anna, G.L. Jr (1989). Treatment of raw domestic sewage in an UASB reactor. *Water Research*, 23 (12), 1483-1490.
- DET (Department of Environmental Technology) (1994). Manual laboratory methods and procedures for anaerobic wastewater treatment. Wageningen Agricultural University. 20 pp.
- Lettinga, G., van Nelsen, A.F.M., Hobma, S.W., de Zeeuw, W. & Klapwijk, A. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering* 22, 699-734.
- Lettinga, G. & Vinken, J.N. (1980). Feasibility of the upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process for the treatment of low-strength wastes. *35th Purdue Industrial Waste Conference Proc.* p 625-634.
- Seghezzo, L. et al. (2000). Tratamiento Anaeróbico de líquido cloacal presedimentado en reactores UASB en regiones de clima subtropical (Salta, Argentina). Aceptado para presentación oral en el VI Seminario Taller de Digestión Anaeróbica a desarrollarse en Recife, Brasil, del 5 al 9 de noviembre de 2000.
- Seghezzo, L., Zeeman, G., van Lier, J.B., Hamelers, H.V.M. and Lettinga, G. (1998). A review: the anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. *Bioresource Technology* 65, 175-190.
- Van Haandel, A.C. y Lettinga G. (1994). Anaerobic Sewage Treatment. *A Practical Guide for Regions with a Hot Climate*. Ed. John Wiley y Sons. Inglaterra
- Wang, K (1994). *Integrated anaerobic and aerobic treatment of sewage*. PhD Thesis. Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands. 145 p.

ABSTRACT

One year operation of a 500 L pilot-scale UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) reactor treating pre-settled sewage is described. Settling was provided by a conventional primary sedimentation tank. The system is operating since 1995 in the city of Salta, Argentina, being the first experience on anaerobic sewage treatment in the country. The climate in the region is defined as subtropical with a dry season. Mean annual ambient temperature is 16.5°C. Mean influent temperature was 21.6°C. Digested sewage sludge was used as inoculum, and a granular sludge bed developed in the reactor. Chemical Oxygen Demand (COD) concentration in raw and pre-settled sewage averaged 228 and 152 mgCOD/L, respectively. The reactor removed more than 50% of the COD from pre-settled sewage. A COD removal efficiency of 68% was achieved in the whole system (Primary Settler + UASB reactor). The effluent, with a concentration of 72 mgCOD/L, consistently met local proposed COD discharge standards (125 mgCOD/L). The mean sludge specific methanogenic activity (SMA) was 0.11 gCH₄-COD/gVSS.d (grams of produced CH₄ expressed as COD, per gram of Volatile Suspended Solids of the sludge, per day). The effect of the Hydraulic Retention time (HRT) on the COD removal efficiency was assessed. Five HRT's were tested: 3, 4.4, 6, 7 and 9 h. Each HRT was applied for at least one month to ensure steady state conditions. Maximum COD removal of 63% was achieved at an HRT of 6 h. The studied treatment system or, eventually, two UASB reactors in series, could be a good alternative for sewage treatment under moderate temperature conditions.