



## OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO DE UN REACTOR UASB EN CONDICIONES DE CLIMA SUBTROPICAL

Raquel G. Guerra, Silvia M. González, María E. Figueroa, Anibal P. Trupiano, Lucas Seghezzeo y Carlos M. Cuevas.  
Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación-INENCO, Laboratorio de Estudios Ambientales - C.P.4400 - Salta  
Tel. 0387-4255516. Email: [lucas@unsa.edu.ar](mailto:lucas@unsa.edu.ar)

**RESUMEN:** Este trabajo presenta los resultados obtenidos del seguimiento de un reactor *UASB* bajo condiciones de clima subtropical para el tratamiento anaeróbico de efluentes domésticos. El mismo se llevó a cabo en la Ciudad de Salta, en el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Salta. El clima de Salta está definido como subtropical con estación seca. Desde Diciembre de 1999 hasta Junio del 2001 la temperatura media del líquido cloacal a la entrada del reactor fue de  $22.9 \pm 0.25^\circ\text{C}$ . El sistema sedimentador primario-UASB remueve casi el 60% de la DQO de un líquido con baja concentración. El efluente del reactor con una concentración media de  $62 \text{ mgDQO/L}$  se encuentra dentro de los valores de descarga permitidos para la Ciudad de Salta ( $125 \text{ mgDQO/L}$ ). Las purgas realizadas al manto del lodo del reactor no afectaron la *AME* (Actividad Metanogénica Especifica) promedio del mismo, mientras que el contenido de *SSV* (Sólidos Suspendidos Volátiles) disminuyó levemente. La *AME* a  $20^\circ\text{C}$  no mostró diferencias significativas con respecto a la *AME* a  $30^\circ\text{C}$ , esto significa que las bacterias están adaptadas a la temperatura del líquido en el reactor ( $22.1 \pm 3.75^\circ\text{C}$ ).

**Palabras clave:** Reactor *UASB*, líquido cloacal presedimentado, actividad metanogénica específica (*AME*), remoción *DQO*, lodo, purgas.

### INTRODUCCIÓN

El tratamiento anaeróbico de efluentes domésticos es una de las técnicas más antiguas utilizadas para la remoción de la materia orgánica, aunque suele considerarse un pretratamiento, ya que mediante esta técnica no se eliminan los organismos patógenos. El manto de lodo, que caracteriza a los reactores de tecnología anaeróbica, es el lugar en donde se encuentran los organismos (bacterias) que se encargan de degradar el material orgánico influente, que incluye sólidos sedimentables, nutrientes, etc. El lodo, al ser granular, mejora y hace más eficiente el proceso de degradación de la materia orgánica, y debido a las buenas propiedades de sedimentabilidad que posee queda retenido en el reactor. Se ha probado que, bajo condiciones de clima tropical con rangos de temperatura entre  $20$  y  $35^\circ\text{C}$ , los reactores anaeróbicos de alta eficiencia ofrecen una gran perspectiva para el tratamiento de efluentes domésticos (van Haandel y Lettinga, 1994). Los reactores *UASB* han sido considerados la opción más atractiva de los sistemas anaeróbicos debido a su simplicidad en el funcionamiento, bajos costos de operación e inversión, como así también por la amplia experiencia de su uso para el tratamiento de numerosos tipos de efluentes industriales (Lettinga y Hulshoff, 1991). La aplicación del tratamiento anaeróbico de efluentes domésticos no está restringida a regiones tropicales. De los resultados obtenidos por Lettinga y colaboradores (Lettinga et al., 1983; Last y Lettinga, 1992; Wang, 1994) se desprende que el tratamiento anaeróbico de líquidos cloacales puede representar una opción factible para las regiones de climas templados. En la ciudad de Salta con una temperatura promedio de  $16.5^\circ\text{C}$  (Arias y Biachi, 1996) se ha demostrado que los reactores *UASB* pueden utilizarse satisfactoriamente para el tratamiento de aguas residuales domésticas diluidas presedimentadas constituyendo una alternativa válida para el saneamiento, protección y mejoramiento ambiental de países tanto en vía de desarrollo como de los desarrollados (Castañeda, 2001).

### MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en la Ciudad de Salta, en el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Salta. El clima está definido como subtropical con estación seca. La temperatura del líquido fue monitoreada constantemente con un termógrafo marca Novasen 3752-5-S-C con un rango de temperatura de  $0$ - $50^\circ\text{C}$ . El líquido cloacal de la ciudad de Salta es diluido, debido probablemente a la infiltración del agua de lluvia y de drenaje en el sistema de red cloacal (Seghezzeo et al., 2001). Uno de los parámetros analizados fue la *DQO* (Demanda Química de Oxígeno) siguiendo la técnica del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995) adaptada a las condiciones del laboratorio. Las muestras que se analizaron fueron de Crudo (después de los sedimentadores primarios) Entrada (entrada al reactor *UASB*) y Salida del reactor. Este parámetro también fue determinado en muestras filtradas en papel de filtro con tamaño de poro  $4.5 \mu$  (Schleicher & Schuell 595<sup>1/2</sup>) y membrana con tamaño de poro de  $0.45 \mu$  (Schleicher & Schuell). De la diferencia entre la *DQO*total (líquido cloacal sin filtrar) y la *DQO*filtrada se obtuvo el valor de la *DQO*suspendida y de la diferencia entre la *DQO*filtrada y la *DQO*membrana se obtuvo el valor de la *DQO*coloidal (Wang, 1994). Con respecto a los sólidos del líquido cloacal, estos fueron determinados también a través de la técnica propuesta por el Standard Methods, obteniéndose el valor de los sólidos suspendidos totales (*SST*). Uno de los parámetros más importantes que se deben tener en cuenta para el correcto funcionamiento de este tipo de reactores es la Actividad Metanogénica Especifica (*AME*) cuyo

resultado expresa la capacidad de las bacterias de degradar la materia orgánica y producir gas metano. La *AME* se expresa como  $gDQO-CH_4/gSSV.d$ . Este parámetro se determina a partir de la producción de metano generada por las bacterias anaeróbicas. Los ensayos fueron realizados por duplicado a distintas temperaturas (4°, 20°, y 30°C) con muestras de lodo tomadas de distintos puntos de muestreo del reactor (canillas 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 y 12), ubicadas a 0.19, 0.34, 0.49, 0.64, 0.79, 1.09, 1.39 y 1.69 m desde la base del reactor (7%, 13%, 19%, 25 %, 31%, 43 %, 55 % y 66 % respectivamente, de la altura total del reactor). La toma de muestra de una u otra canilla fue variando a lo largo del tiempo debido a las sucesivas purgas a las que fue sometido el reactor. El sistema de medición empleado consiste en frascos de suero de 0.5 o 1L donde se prepararan los caldos de cultivo con la cantidad necesaria de lodo y acetato de sodio como sustrato. Los frascos herméticamente cerrados fueron incubados a las temperaturas mencionadas. La producción total de gas  $CH_4$  fué monitoreada por desplazamiento de una solución de NaOH al 5% en la cual se retiene el  $CO_2$  del biogas según se muestra en la **Foto 1**. La cantidad de lodo utilizada en cada ensayo fue determinada del total de Sólidos Suspendedos Volátiles (*SSVg/L*). La estabilidad expresa la cantidad de materia orgánica (*SSV*) del lodo que puede ser convertido en metano, y es producido por los gramos de sólidos suspendidos volátiles (*SSV*) del lodo. El lodo que menos metano produce es el de más fácil disposición final. Una posibilidad de la disposición del lodo es su uso como fertilizantes o para la inoculación de otros reactores. El test de estabilidad se determina para obtener una eficiencia confiable en cualquier sistema de tratamiento. El objetivo primario de la estabilización del lodo es la reducción de olores, de organismos patógenos y la descomposición del lodo (Malina y Pohland, 1992). Las técnicas empleadas para la determinación de los parámetros *AME* y estabilidad se hicieron siguiendo el protocolo del Departamento de Tecnología Ambiental de la *WAU* (Universidad Agronómica Wageningen).



Foto 1. Sistema de medición de metano por desplazamiento de Hidróxido de Sodio

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores mínimos de temperatura se registraron en el mes de Julio de 2000 con valores de 17.0°C y de 14.2°C para la entrada y salida respectivamente, mientras que los máximos se registraron durante el período de verano en Febrero de 2001 (26.6°C para la entrada y 27.0°C para la salida). La temperatura del influente a lo largo del período en estudio tuvo mayores fluctuaciones que la del líquido a la salida del reactor. Las fluctuaciones en la temperatura del líquido cloacal tanto de la entrada como de la salida del reactor coinciden con la estacionalidad del año (valores correspondientes al período Diciembre 1999- Junio 2001). La temperatura media diaria del influente fue de  $22.9 \pm 2.8^\circ C$  y la del efluente de  $22.1 \pm 3.75^\circ C$  (Figura 1) con medias mensuales de  $23 \pm 5.4^\circ C$  y  $22.3 \pm 5.5^\circ C$  respectivamente. Los valores máximos y mínimos absolutos registrados para la entrada fueron de 9.9 y 11.5°C mientras que a la salida fueron de 29.9 y 30.0°C.

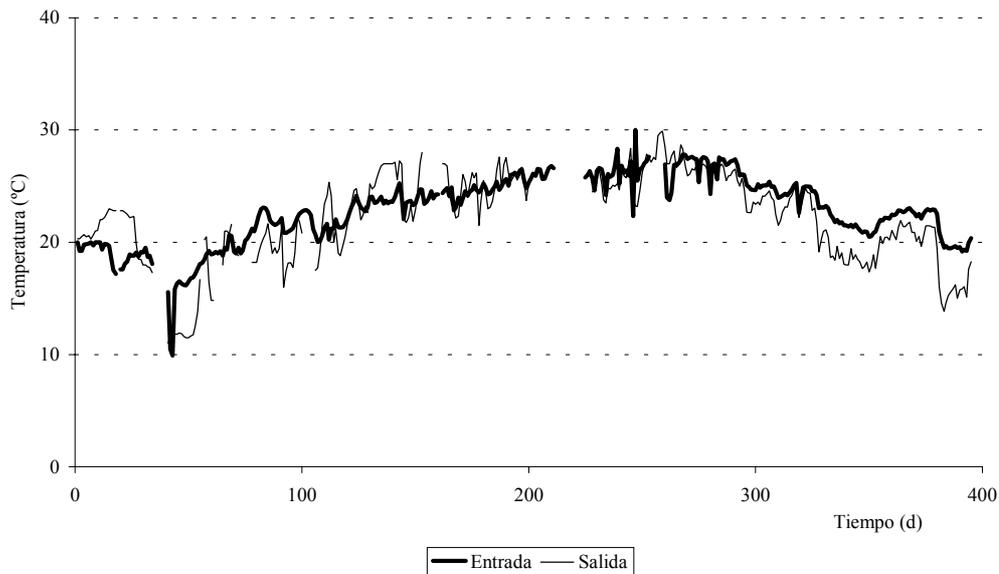


Figura 1. Temperaturas medias diarias del influente y efluente del reactor UASB

En la **Tabla 1** se observan los valores promedios de *DQO* (*mgDQO/L*) obtenidos del Crudo, Entrada y Salida del reactor a lo largo del tiempo de operación.

| Muestra | <i>DQO</i> total | <i>DQO</i> filtrada | <i>DQO</i> suspendida* | <i>DQO</i> coloidal | <i>DQO</i> disuelta* |
|---------|------------------|---------------------|------------------------|---------------------|----------------------|
| Crudo   | 214.59 ± 11.75   | 90.31 ± 7.34        | 124.28                 | 63.25 ± 4.83        | 27.06                |
| Entrada | 147.49 ± 7.05    | 77.87 ± 6.58        | 69.62                  | 56.27 ± 4.80        | 21.60                |
| Salida  | 62.00 ± 4.40     | 42.35 ± 5.16        | 19.65                  | 31.28 ± 4.28        | 11.07                |

Tabla 1. Valores promedio de *DQO* (*mgDQO/L*) del Crudo, Entrada y Salida;  $\alpha=0.05$ . \*Valores calculados a partir de la diferencia de los promedios.

En un período de aproximadamente 112 días la eficiencia de remoción de *DQO*total fue de 57% (Figura 2), mientras que la remoción de sólidos totales (*g/L*) fue aproximadamente de un 30% con un tiempo de retención promedio de 7.93 h valor que fue cambiando a lo largo de la experiencia debido que se modificaba el *TRH* para hacer estudios específicos.

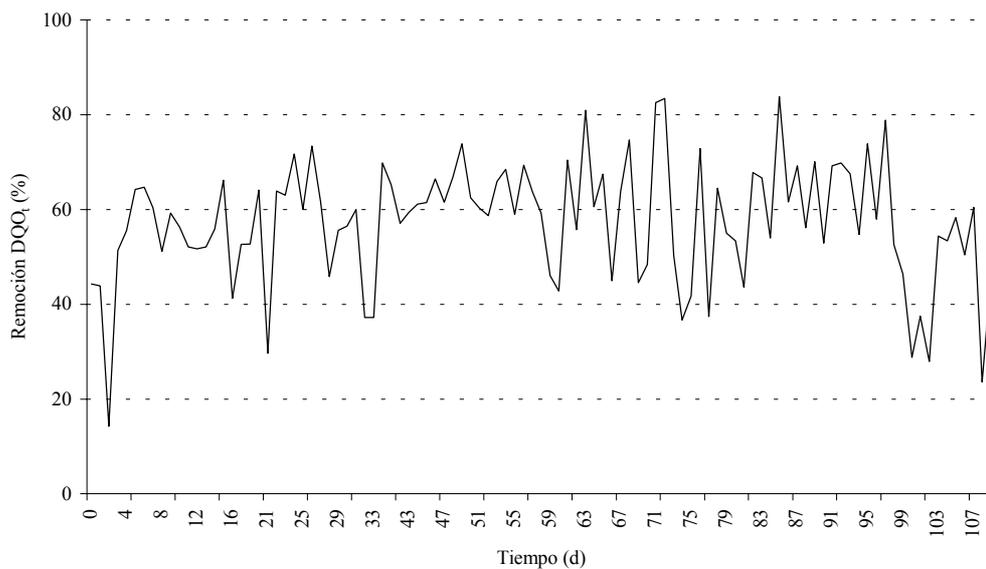


Figura 2. Remoción de *DQO*, en el reactor

La *AME* promedio de 600 días fue de  $0.11 \pm 0.02 \text{ gDQO-CH}_4/\text{gVSS.d}$ , éste valor corresponde a un promedio de valores obtenidos a distintas alturas del reactor. Los sólidos volátiles del lodo ( $27.8\text{g/L} \pm 2.0 \text{ g/L}$ ) como así también la *AME* no presentaron diferencias significativas durante el período en estudio (*Figura 3*); ésto se puede deber a la estabilidad del proceso, robustez del sistema *UASB*, rusticidad de las bacterias o porque las mismas son resistentes a los cambios.

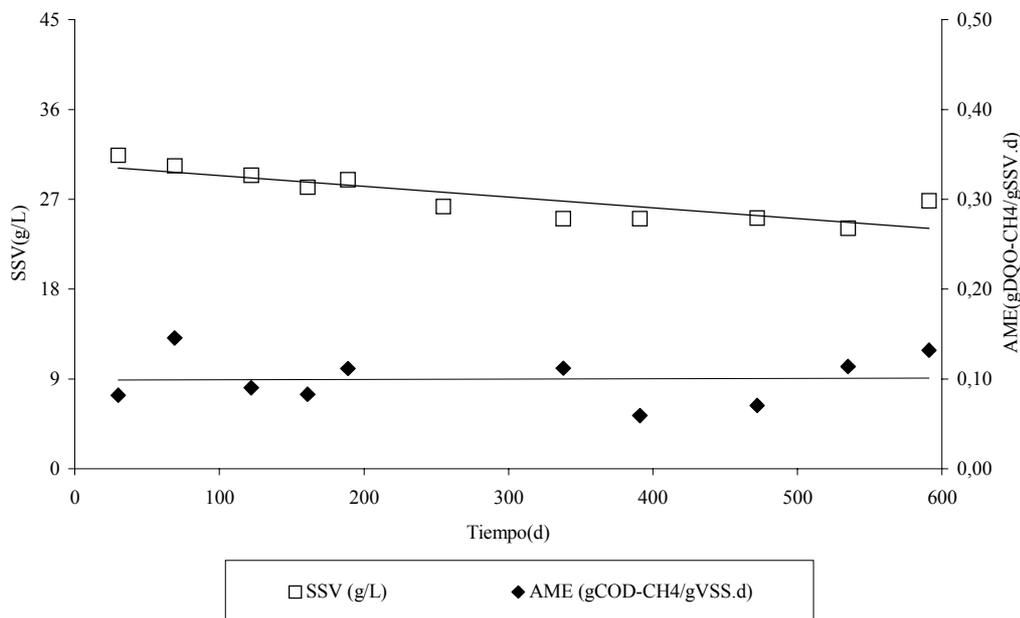


Figura 3. *AME* y contenido de *SSV* del lodo a lo largo del tiempo

Con respecto a la relación *AME* vs Temperatura, las diferencias encontradas entre los ensayos realizados a 30°C y 20°C no fueron significativas, mientras que a 4°C no se registró actividad alguna o si existió fue mínima con una presión insuficiente de gas como para ser medido.

Los ensayos de estabilidad realizados a 30°C, demuestran que el lodo necesita un período mínimo de tres meses para su estabilización. En este punto es necesario aclarar que se requiere más estudio para corroborar los datos inicialmente obtenidos.

## CONCLUSIONES

El sistema sedimentador primario-*UASB* remueve casi el 60% de la *DQO* de un líquido cloacal de baja concentración ( $214.59 \text{ gDQO total/L}$ ). El efluente del reactor que tiene una concentración media de  $62.14 \text{ mgDQO total/L}$  se encuentra dentro de los valores de descarga permitidos para la Ciudad de Salta ( $125 \text{ mgDQO/L}$ ). Las temperaturas del influente y efluente no presentan mayores diferencias.

Las sucesivas purgas realizadas no afectaron la *AME* promedio del lodo, mientras que el contenido de *SSV* disminuyó levemente durante el período de estudio presentado. La *AME* a 20°C no mostró diferencias significativas con respecto a la *AME* a 30°C, ésto significa que las bacterias están adaptadas a la temperatura del líquido en el reactor ( $22.1 \pm 3.75^\circ\text{C}$ ).

La estimación de la estabilidad del lodo es importante para su correcta disposición final y su posible aplicación en silvicultura, pastizales, producción de plantas ornamentales o forestales, de donde se desprende la importancia de continuar con su estudio.

## 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

## NOMENCLATURA

*AME*: Actividad Metanogénica Específica  
*DBO*: Demanda Biológica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno  
SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles  
TRH: Tiempo de Retención Hidráulica  
UASB: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y Manto de Lodo

## REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF) (1995). Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition. Eaton, A.D., Clesceri, L.S. and Greenberg, A.E., 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.
- Castañeda, M. L. (2001). Tratamiento de aguas residuales presedimentadas en un reactor UASB en climas subtropicales. Tesis para Licenciatura en Ciencias Biológicas.
- DET (Department of Environmental Technology) (1994). Manual laboratory methods and procedures for anaerobic wastewater treatment. Wageningen Agricultural University. 20 pp.
- van Haandel, A.C. y Lettinga, G. (1994). Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate. Chichester, England. John Wiley & Sons Ltd. 226 p.
- Last A. R. M. van der y Lettinga G. (1992) Anaerobic treatment domestic sewage under moderate climatic (Dutch) conditions using upflow reactors at increased superficial velocities. Water Sci. Technol., 25 (7), 167-178.
- Lettinga G., Roersma R. y Grin P. (1983) Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor. Biotech y Bioeng., 25, 1701-1723.
- Lettinga G. y Hulshoff L. (1991) UASB-process design for various types of wastewater. Water Sci. Technol. 24 (8), 87-107.
- Malina J. F. Pohland F. (1992). Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes. (7), 189-194.
- Seghezzi, L., Guerra, R.G., González, S.M., Trupiano, A.P., Figueroa, M.E., Cuevas, C.M., Zeeman, G. y Lettinga, G. (2001). Removal efficiency and methanogenic activity profiles in a pilot-scale UASB reactor treating settled sewage at moderate temperatures. Noveno Congreso Mundial de Digestión Anaeróbica AD 2001. Amberes, Bélgica, del 2 al 6 de septiembre de 2001. Trabajo aceptado para presentación oral.
- Wang, K. (1994). Integrated anaerobic and aerobic treatment of sewage. PhD Thesis. Wageningen Agricultural University. Wageningen, Holanda. 145 p.

## ABSTRACT

The results of the operation and monitoring of an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor under subtropical conditions by treating pre-settled sewage is described. The work was carried out in the city of Salta at the Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA) from CIUNSa-INENCO (Research Institute on Non-Conventional Energy Sources). The climate in the region is defined as subtropical with a dry season. From December 1999 to June 2001 mean influent sewage temperature was  $22.9 \pm 0.25^\circ\text{C}$ . The whole system (settler-UASB) removed about 60% of the COD<sub>total</sub> from low concentration sewage. The effluent, with a mean concentration of  $62 \text{ mgCOD/L}$ , consistently met local COD discharge standards ( $125 \text{ mgCOD/L}$ ). The excess sludge discharges from the sludge blanket of the reactor did not affect average Specific Methanogenic Activity (SMA), while the volatile suspended solids (VSS) decreased slightly. SMA at  $20^\circ\text{C}$  was not significantly different than SMA at  $30^\circ\text{C}$ , suggesting that the sludge is adapted to local sewage temperature ( $22.1 \pm 3.75^\circ\text{C}$ ).

**Keywords:** UASB reactor, pre-settled sewage, specific methanogenic activity (SMA), COD removal, sludge, purges.