

## **EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES EN UN SISTEMA UASB Y LAGUNAS DE MADURACIÓN**

**Arena A. N., Liberal V., Cuevas C.**  
**Facultad de Ingeniería. Consejo de Investigaciones. U.N.Sa. Campo Castañares**  
**Avda. Bolivia 5.150 – tel/fax 0387 4255470 - arenaa@unsa.edu.ar**

### **RESUMEN**

Los objetivos de este estudio abarcan la determinación de niveles de remoción de patógenos en líquidos cloacales utilizando reactores UASB y lagunas de maduración, y por otro lado la determinación de la constante cinética de decaimiento bacteriano en las lagunas. La planta de tratamiento se compone de dos reactores UASB en serie, seguido de cinco lagunas de maduración también dispuestas en serie. La remoción de *Escherichia coli* en el sistema completo fue de 99.9999 %, a su vez; la remoción del mismo microorganismo indicador en lagunas fue muy alto y el criterio para riego irrestricto de la OMS fue alcanzado en el sistema de lagunas de maduración. Los resultados obtenidos en este estudio revelan un comportamiento eficiente del sistema en las condiciones climáticas locales.

### **PALABRAS CLAVE**

Remoción de patógenos, constante cinética, lagunas de maduración, UASB.

### **INTRODUCCIÓN**

El estudio de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales adecuadas a nuestra realidad económica y social permitirá encontrar nuevas alternativas para mitigar riesgos en materia del recurso agua. La investigación del comportamiento del reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos (UASB) seguido de un post - tratamiento llevado a cabo en lagunas de maduración en climas moderados está en pleno desarrollo (Van Haandel y Lettinga, 1994; Seghezzo *et al.*, 2001). Los resultados encontrados en zonas con climas de características tropicales indican que el reactor UASB es un proceso eficiente en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos de aguas residuales domésticas e industriales (Trupiano *et al.*, 2002). Pero la remoción de organismos patógenos en reactores UASB no es satisfactoria por cuanto no se alcanzan los requisitos de calidad bacteriológica aceptada por los organismos de contralor, por lo cual se requiere de un post-tratamiento que permita alcanzar valores de remoción adecuados al volcamiento.

El post - tratamiento debe alcanzar una remoción de patógenos del orden de 99.9 a 99.99 % para que el efluente cumpla con los requisitos de calidad establecidos para su disposición final en cuerpos de agua o para ser utilizado en riego agrícola.

Por otro lado, el estudio del comportamiento cinético de lagunas es un campo aún poco explorado en nuestra región. La determinación de valores de la constante cinética  $K_b$  [ $\text{día}^{-1}$ ] permite obtener datos afectados a las condiciones locales de funcionamiento de las plantas de tratamiento y en consecuencia ajustar el diseño de lagunas afectado a esas condiciones.

Las investigaciones realizadas en los últimos tiempos en la materia han encontrado que el decaimiento de la población de bacterias en las lagunas de maduración con bajas cargas se ajusta a una reacción de primer orden (ley de Chick). El afluente de las lagunas del sistema cumple con esta condición (DQO del líquido que ingresa a lagunas es menor a 250 mg DQO/l).

Los valores de las constantes reportadas por numerosos investigadores (Marais y Shaw, 1970; Klock, 1971) muestran una divergencia notable, las mismas están afectadas por diversos factores; pH, la temperatura, el tiempo de permanencia, el clima, en este sentido los valores reportados para climas tropicales difieren de los hallados para climas templados.

Los objetivos planteados en el presente trabajo fueron los siguientes:

1. Estudiar y determinar niveles de eficiencia de remoción de patógenos en reactores UASB y lagunas.
2. Determinar el coeficiente específico de decaimiento bacteriano en las lagunas de maduración bajo las condiciones locales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema en estudio se encuentra en régimen desde el año 2.001 en la ciudad de Salta. El clima de la región se define como subtropical con estación seca, con una temperatura ambiente media anual de 16,5 ° C (Arias y Bianchi, 1996).

Las unidades del proceso biológico se han instalado en el predio de la Planta Depuradora de Aguas Residuales, la cual recibe los efluentes líquidos de la zona centro - sur de la ciudad de Salta.

Luego del tratamiento primario el líquido residual ingresa a una cámara partidora de la cual se toma una fracción de alimentación al sistema que es objeto de estudio. El sistema se compone de dos reactores UASB (R3000 y R800) y cinco lagunas de maduración en serie (LDM) que aportan el post-tratamiento. En el diseño de las lagunas de maduración, se estableció un criterio de sobredimensionamiento con el propósito de asegurar el logro de la calidad bacteriológica establecida por las normas actualmente vigentes para el volcamiento de efluentes a cursos de agua. El esquema a continuación muestra el sistema de tratamiento.

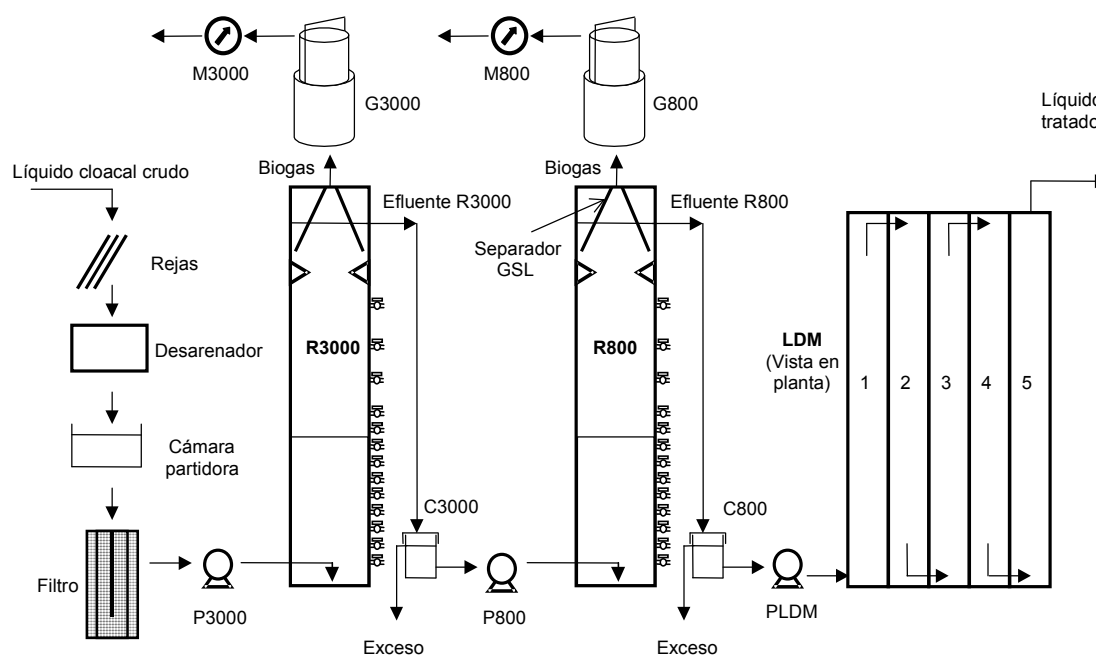


Figura 1. Diagrama de flujo del sistema. R3000: primer reactor UASB. Dimensiones: altura (h) = 3.95 m; diámetro (d) = 1 m; volumen (V) = 3.102 m<sup>3</sup>; R800: segundo reactor UASB. Dimensiones: h = 3.95 m; d = 0.5 m; V = 0.766 m<sup>3</sup>; LDM = Lagunas de Maduración (1-5). Dimensiones: largo = 3 m; ancho = 0.5 m; profundidad = 0.94 m; V = 1.4 m<sup>3</sup> cada una; P = bombas peristálticas; C = contenedores intermedarios (V = 10 L); G = gasómetros; M = medidores de gas; GSL = Gas-Sólido-Líquido.

Para la determinación de Coliformes Fecales (CF) se utilizó la técnica de tubos múltiples en medio líquido colectando muestras puntuales de frecuencia mensual. El tiempo de retención hidráulica (TRH) en lagunas fue de 15.2 días. También fueron colectados los datos de evolución de la temperatura ambiente, temperatura de lagunas y pH.

La disminución de gérmenes patógenos que ocurre en el líquido aislado se rige por la Ley de Chick (ecuación 1):

Donde:

$$\ln \left[ \frac{N_0}{N} \right] = Kb \times t \quad \text{ecuación 1}$$

$N_0$  = es la calidad bacteriológica

original en el líquido,

$N$  = es la calidad bacteriológica luego de un tiempo  $t$ ,

$Kb$  = constante específica de decaimiento bacteriano.

El valor de la constante Kb se determina mediante el conteo de coliformes fecales de las pruebas aplicando una recta de mejor ajuste a los datos obtenidos.

Las experiencias en campo y laboratorio para la determinación de la constante cinética específica en el sistema de lagunas se realizaron en época invernal, conduciendo pruebas en régimen de equilibrio discontinuo por un periodo que abarcan 10 días. Se registraron los valores de pH, la temperatura ambiente y la temperatura del líquido, las cuales fueron medidas en cada unidad de laguna con un termómetro digital marca Keithley.

## RESULTADOS

### *Concentración de E. coli en el Sistema de Reactores UASB y lagunas*

En la Tabla 1 se resumen los resultados de las determinaciones de *Escherichia coli* sobre el líquido que entra al sistema (entrada líquido crudo), a la salida del reactor UASB de 3000 litros (Salida R3000), a la salida del reactor UASB de 800 litros (salida R800) y a la salida del sistema de lagunas (salida líquido tratado) para distintas pruebas.

| Nº de Prueba | Entrada líquido crudo | Salida R3000 | Salida R800 | Salida líquido tratado | pH   | T [ °C ] |
|--------------|-----------------------|--------------|-------------|------------------------|------|----------|
| 1            | 4,60E+08              | 4,60E+06     | 2,40E+06    | -                      | 9,25 | 26       |
| 2            | 3,50E+07              | 2,10E+06     | 2,80E+05    | -                      | 8,44 | 25,02    |
| 3            | 1,10E+09              | 1,10E+07     | 1,50E+06    | 3,60E+01               | 8,62 | 28,8     |
| 4            | 1,10E+10              | 1,10E+06     | 3,50E+05    | 7,30E+00               | 7,63 | 25,38    |
| 5            | 3,60E+07              | 9,30E+07     | 3,60E+04    | 2,30E+01               | 8,81 | 18,14    |
| 6            | -                     | -            | -           | 1,50E+02               | 7,72 | 9,38     |
| 7            | 3,60E+07              | -            | -           | 3,60E+00               | 8,85 | 21,84    |
| 8            | 3,60E+08              | 1,20E+07     | 2,40E+06    | 1,40E+01               | 9,34 | 19,82    |
| 9            | 2,00E+09              | 2,10E+07     | 4,30E+06    | -                      | 8,8  | 25,86    |
| 10           | 2,80E+08              | 2,00E+06     | 1,50E+06    | 3,60E+00               | 8,07 | 23,78    |
| 11           | 7,50E+08              | 3,60E+06     | 5,30E+05    | 1,10E+03               | 8,56 | 25,58    |
| 12           | 2,80E+08              | 0,00E+00     | 4,60E+07    | 3,60E+00               | 8,84 | 29,36    |
| 13           | 4,40E+08              | 2,70E+07     | 4,60E+06    | 2,30E+01               | 8,55 | 16,7     |

Tabla 1: Datos de concentración de coliformes fecales (NMP/100 ml) en reactores UASB y lagunas, pH en el líquido tratado y Temperatura promedio del líquido en °C en lagunas.

### *Niveles de Remoción de Escherichia coli en el sistema de reactores UASB y lagunas*

En la Tabla 2, la primera columna muestra la eficiencia de remoción de organismos patógenos (*Escherichia coli*) obtenidos en los reactores UASB de 3000 litros y 800 litros. La segunda columna presenta la eficiencia de remoción de *Escherichia coli* obtenida en el sistema independiente de lagunas. Por último, en la tercera columna se detalla la eficiencia de remoción total de *Escherichia coli* calculada en el sistema completo de tratamiento.

| Nº de Prueba | Reactores UASB | Lagunas  | Reactores UASB + Lagunas |
|--------------|----------------|----------|--------------------------|
| 1            | 99,3333        | 99,9994  | 99,99999                 |
| 2            | 99,7952        | -        | -                        |
| 3            | 99,4643        | 99,9998  | 99,99999                 |
| 4            | 99,9293        | 99,7925  | 99,99985                 |
| 5            | 83,5714        | 99,99999 | 99,999999                |
| 6            | 98,9545        | 99,9995  | 99,99999                 |

Tabla 2: Eficiencia de remoción *Escherichia coli* en porcentaje en los reactores UASB, en las lagunas en el sistema completo de tratamiento.

### **Coefficiente de Decaimiento Bacteriano Kb**

En la Tabla 3 se muestran los valores de la constante específica de decaimiento bacteriano realizado para pruebas en equilibrio discontinuo a distintas temperaturas del líquido en lagunas.

| <b>Coefficiente [día<sup>-1</sup>]</b> | <b>L1</b> | <b>L2</b> | <b>L3</b> |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Kb a T = 14.6 °C                       | 1,53      | 0,58      | 0,55      |
| Kb a T = 12.2 °C                       | 1,04      | -         | -         |
| Kb a T = 14 °C                         | 1,26      | 0,74      | 0,75      |

Tabla 3: Coeficientes de decaimiento bacteriano en las tres primeras lagunas de maduración para pruebas realizadas a distintas temperaturas.

### **DISCUSION DE RESULTADOS**

En cuanto los niveles de decaimiento bacteriano observado en este trabajo, el efluente del sistema completo (líquido tratado) satisface las exigencias establecidas por la norma de volcamiento de efluentes para *Escherichia coli* a cuerpos de agua superficial (NMP < 2000/100 ml), Resolución N° 011/00, de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Salta (SeMADeS, 2001). El líquido tratado además cumple con los requerimientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1989) para riego irrestricto.

El estudio realizado en relación al coeficiente de decaimiento bacteriano fue llevado a cabo en los meses de frío, estableciendo la posición mas adversa para la actividad biológica en lo que se refiere a las condiciones climáticas. Los valores de la constante Kb determinados en el presente trabajo son comparables a las reportadas por Marais variando en un intervalo de 0.66 a 1.02 días<sup>-1</sup> en el intervalo de 12.2 a 14.6 °C (Yañez Cossio, 1982) y muestran una cierta divergencia con los obtenidos por Klock; reportando datos entre 0.46 días<sup>-1</sup> y 1.612 días<sup>-1</sup> para un intervalo de 7.9 a 25.2 °C (Yañez Cossio, 1982) para el intervalo de temperaturas comparables a la de este trabajo.

Por otro lado, los coeficientes informados por Liberal y colaboradores (Liberal et al, 1998) desarrollaron un estudio en el intervalo comprendido entre 20 a 25 °C para lagunas en la ciudad de Salta, datos que no son extrapolables y por lo tanto no pueden compararse con los obtenidos en el presente estudio.

Es de interés conducir pruebas en la época estival de manera de ampliar las conclusiones encontradas en el presente escenario.

### **CONCLUSIONES**

- Los valores de la constante de decaimiento, kb muestran un intervalo de variación semejante a los reportados por distintas investigaciones en la materia.
- Los valores de la constante de decaimiento bacteriano encontrados en los meses de frío son similares a los reportados en estudios con estas características.
- La remoción de patógenos alcanza valores importantes de remoción tanto en reactores como en las lagunas, siendo de gran significancia los valores encontrados en lagunas.
- El sistema cumple con los parámetros de calidad bacteriológica (CF) establecidos en la norma vigente.
- El sistema estudiado presenta alta remoción de CF, con concentraciones en el efluente final sumamente bajas, constituyendo una opción atractiva para el tratamiento de líquidos residuales domésticos en regiones subtropicales.
- El sistema de lagunas de maduración para post-tratamiento alcanza la calidad bacteriológica establecida por las normas en la cuarta laguna de maduración con los tiempos de permanencia en los cuales se desarrolló la experiencia.

### **ABSTRACT**

Aims of this work are the study of faecal coliform removal efficiency in a combined system of UASB reactors- maturation ponds, and the determination of the die-off constant  $K_b$  of the ponds for regional climatic conditions. Results for faecal coliforms removal and die-off constant are presented for the pilot-scale combined system of two UASB (up flow anaerobic sludge blanket) reactors in series followed by five waste maturation ponds (WMP), also in series. Faecal Coliforms (FC) removal in the entire system was 99.9999%, been the removal efficiency of *E. coli* in lagoons very high, meeting the WHO criterion for unrestricted irrigation ( $N_{E.coli}$ ). The studied combined system is an attractive option for sewage treatment in subtropical regions.

### **KEYWORDS**

UASB, maturation ponds, faecal coliform removal, die-off constant.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 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. INTA Cerrillos, Salta, Argentina. 189 p.
- Klock, J. W. Survival of coliform bacteria in wastewater treatment lagoons. *Journal W.P.C.F.* 43:10, p.2071. 1971.
- Liberal, V., Cuevas, C.M., Trupiano, A.P. y Bohuid, E. (1998), Determinación de constantes cinéticas en lagunas de estabilización de Salta, en Actas 23º Congreso Interamericano de Saneamiento y Medio Ambiente, Lima, Perú.
- Seghezzo, 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.*
- SeMADeS (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Salta) (2001). Resolución N° 011.
- 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.
- Trupiano, A.P., Seghezzo, 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. 12º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente, (AIDIS Argentina), Buenos Aires, 8-10 de mayo 2002.
- WHO (World Health Organization) (1989). *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.* Technical Report Series 778. Ginebra, Suiza.
- Yañez Cossio, F (1982) Manual de métodos experimentales “Evaluación de lagunas de estabilización” Serie Técnica 24.