

EVALUACION DE EFLUENTES CLOACALES TRATADOS EN UN SISTEMA COMBINADO PARA REUSO EN AGRICULTURA Y ACUICULTURA

V. Liberal, A. Arena, C. Cuevas.

Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA-INENCO)
Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA)
Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Salta C.P. 4400 – Salta
Avda. Bolivia 5.150 – tel/fax 0387 4255470 – fbel@unsa.edu.ar

RESUMEN

El reuso de aguas residuales tiene gran potencial en riego y piscicultura, ya que contiene nutrientes disponibles. Sin embargo sus posibles usos requieren una determinada calidad sanitaria. En el trabajo se evalúa la calidad físico, química y microbiológica de líquidos cloacales tratados en un sistema combinado formado por dos reactores anaeróbicos de flujo ascendente y manto de lodos (UASB) y cinco lagunas de maduración (LDM), a escala piloto, que opera con líquidos pretratados en rejillas y desarenador, a fin de determinar la viabilidad de su reuso en riego agrícola y acuicultura. Se encuentra que la concentración de coliformes fecales en el líquido tratado en el sistema, holgadamente inferior al valor guía de las Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), resulta muy adecuada para su empleo en riego y piscicultura. Por otra parte, la concentración de nutrientes y contenido salino, permiten su empleo en una amplia gama de cultivos agrícolas.

Palabras clave: riego, reuso de aguas residuales tratadas.

INTRODUCCION

En los países en desarrollo, el objetivo prioritario del tratamiento de las aguas residuales debe ser la remoción de bacterias patógenas, virus y parásitos, pues son males endémicos y no la remoción de materia orgánica y nutrientes, que sí es el principal objetivo del tratamiento en los países desarrollados, en donde una tifoidea o un caso de parasitosis son excepcionales (CEPIS, 1997).

La opción tecnológica mediante la cual se alcanza plenamente el objetivo de “no patógenos” corresponde a las lagunas de estabilización, cuyos efluentes, por su calidad bacteriológica, pueden usarse en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, los cultivos agroindustriales y acuicultura hasta forestación. Sin embargo cada tipo de uso requiere una determinada calidad de los efluentes. El uso de las aguas residuales también permite obtener otros beneficios, como el uso eficiente del agua, provisión de abonos naturales y generación de alimentos, empleo e ingresos económicos, y la ampliación de la agricultura en zonas áridas o semiáridas (CEPIS, 1997).

El reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) (Reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos) muestra ser claramente eficiente en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos de aguas residuales domésticas e industriales, especialmente en zonas con climas de características tropicales. Su aplicación en zonas subtropicales y templadas es aún materia de estudio (van Haandel y Lettinga, 1994; Seghezzo *et al.*, 1998). Estos reactores tienen baja remoción de macro nutrientes (nitrógeno y fósforo) y de organismos patógenos, por lo que requieren de un pos-tratamiento para lograr reducciones satisfactorias en la concentración de nutrientes y patógenos. El post - tratamiento debe alcanzar una remoción de patógenos del orden de 99.9 o 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. Las lagunas de maduración resultan un post - tratamiento posible de aplicar para el logro de estos objetivos de calidad. En la ciudad de Salta se está experimentando desde el año 2001 un sistema combinado a escala piloto de reactores UASB seguidos de lagunas de maduración.

El reuso de aguas residuales

El reuso de aguas residuales tiene gran potencial en el riego y piscicultura, ya que contiene nutrientes que pueden estar disponibles para la aplicación. En este sentido, hay resultados experimentales obtenidos por países latinoamericanos en cultivos variados, que se muestran en las Tablas 1 y 2. La presencia de nutrientes en el efluente es un aspecto positivo, pero el mismo debe cumplir con requisitos de carácter sanitario, como la baja concentración de sustancias tóxicas y microorganismos patógenos, perjudiciales a la salud pública. (CEPIS, 2002)

Las aguas residuales domésticas o cloacales presentan altas concentraciones de microorganismos perjudiciales para la salud como virus, bacterias, parásitos. La concentración de estos organismos se infiere a través de la detección de *Coliformes totales* y *Escherichia coli* como indicadores de contaminación fecal. Puesto que las enfermedades que pueden ser transmitidas aumentan notablemente el riesgo si coexisten algunos aspectos importantes como la virulencia de los organismos, fácil transmisión y susceptibilidad de las personas, se requiere de un tratamiento adecuado a efecto de reducir la concentración de los microorganismos patógenos y disminuir por lo tanto los riesgos de dosis infecciosas entéricas.

Cultivo	Rendimiento en Ton/ha	
	Aguas negras	Aguas blancas
Alfalfa	120.0	70.0
Maíz	5.0	2.0
Frijol	1.0	1.3
Trigo	3.0	1.8
Cebada	4.0	2.0
Avena	22.0	12.0
Tomate	35.0	18.0
Aji	12.0	7.0

Tabla 1: Comparación de rendimientos en cultivos utilizando aguas negras y blancas en México.

Cultivo	Rendimiento en Ton/ha	
	Aguas negras	Aguas blancas
Papa	45,0	12,0
Camote	20,0	10,5
Maíz	3,0	2,0
Alfalfa	12,5	10,0
Zapallo	20.0	12.5

Tabla 2: Comparación de rendimientos en cultivos con riego de efluentes de lagunas secundarias y con aguas blancas.

Normas de calidad para diferentes usos del agua

En la Tabla 3 se muestran los valores guías de calidad según los diferentes usos del agua, extraídos de la Ley Nacional N° 24.051/92 (Decr. 831/93), Guías para la Calidad del Agua de Canadá y de la Comunidad Europea (1991).

Parámetro	Uso del agua	
	Riego	Vida Acuática
pH	-	6.5 - 8.5
Turbidez	-	-
Sólidos Totales Disueltos	100 mg/l	100 mg/l
DBO ₅	60 mg/l	3 - 6 mg/l
Oxígeno Disuelto	> 3 mg/l	> 5 mg/l
Nitrato	-	45 mg/l
Fosfato	-	1 mg P ₂ O ₅ /l

Tabla 3: Guías de calidad nacionales, canadiense y europea para distintos usos del agua.

Directrices sobre la calidad de los efluentes empleados en Agricultura

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 1989) propone una directriz microbiológica promedio de coliformes fecales (número geométrico promedio) de 1000 por 100 ml de agua para el riego irrestricto (riego de cultivos que se consumen crudos), valor que se considera un límite técnicamente posible de conseguir, en tratamientos de lagunas de estabilización. El tiempo de retención hidráulica en las lagunas de estabilización deben ser al menos de 3 a 4 semanas para lograr la sedimentación de los huevos de Nematodos intestinales, realizando el tratamiento en serie de lagunas anaeróbicas, aeróbicas, y de maduración. Líquidos con menores tiempos de retención en lagunas pueden ser utilizados en cultivos que no serán consumidos o que tendrán un proceso previo al consumo (CEPIS, 1997).

La Tabla 4 contiene las Directrices de la OMS para calidad bacteriológica y parasitológica de aguas tratadas para distintas categorías de uso en agricultura.

Directrices sobre la calidad de los efluentes empleados en Acuicultura

Los peces que crecen en estanques que contienen aguas residuales se pueden contaminar con bacterias o virus, que son transportados en las escamas, agallas, líquido intraperitoneal, vía digestivas o en el músculo de los peces. Los caracoles acuáticos, así como también ciertas especies de peces, son huéspedes de varios parásitos helmínticos. Es muy probable que las bacterias invadan el músculo de los peces cuando éstos se cultivan en aguas que contengan concentraciones superiores de Coliformes Fecales (CF) y Salmonellas en valores superiores a 10^4 y 10^5 por 100 mL respectivamente. Habría poca acumulación de agentes patógenos en el tejido comestible de los peces cuando la concentración de CF es inferior a 10^3 por 100 mL. Aún con menores grados de contaminación, puede haber elevadas concentraciones de agentes patógenos en las vías digestivas y en el líquido intraperitoneal de los peces (CEPIS, 2002). La OMS recomienda, con carácter provisional, una directriz de una media geométrica de 10^3 CF/100 mL para el agua de estanques de peces (OMS, 1989).

Categoría	Condiciones de reutilización	Grupo expuesto	Nematodos Intestinales (Nº aritmético promedio de huevos por litro) ²	Coliformes fecales (Nº geométrico promedio por 100 ml) ³	Tratamiento de aguas residuales para el alcance de la calidad microbiológica requerida
A	Irrigación de cultivos probablemente consumidos crudos, campos de deporte, parques públicos ⁴	Campeños, consumidores, público	≤1	≤1.000 ⁴	Una serie de lagunas de estabilización proyectadas para alcanzar la calidad microbiológica indicada, o un tratamiento equivalente
B	Irrigación de cereales, cultivos industriales, forraje, pastos y árboles ⁵	Campeños	≤1	No existen normas recomendadas	Retención en lagunas de estabilización durante 8 - 10 días, o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Irrigación localizada de cultivos en la categoría B si no están expuestos trabajadores y el público.	Ninguno	No aplicable	No aplicable	Pretatamiento como lo requiere la tecnología de irrigación, pero por lo mínimo una sedimentación primaria

Tabla 4: Directrices de calidad microbiológica y parasitológica recomendadas para el uso de agua residual en agricultura (OMS, 1989). ² Especies *Ascaris*, *Trichuris* y *Anquilostomas*. ³ Durante el periodo de riego. ⁴ Una directriz más rigurosa (≤ 200 coliformes por 100 ml) es apropiada para céspedes públicos, tales como céspedes de hoteles, con los cuales el público entra en contacto directo. ⁵ En el caso de árboles frutales se debe suspender el riego dos semanas antes de la recolección de las frutas, y no se deben recoger frutas del suelo. También se debe evitar el riego por aspersión.

Aptitud para riego de los efluentes tratados

Un esquema de clasificación para riego fue propuesto por Richard (1951), Laboratorio de Riverside, USDA. Este ordenamiento divide a las aguas según la Peligrosidad de Salinización y Peligrosidad de Sodificación.

Peligrosidad de Salinización: este inconveniente se presenta cuando las sales se concentran en la zona radical del cultivo, a niveles tales que producen una baja en el rendimiento de producción vegetal. Puede ocasionarse por el agua de riego o por el ascenso capilar de las sales desde napas freáticas muy cercanas a la superficie. Según esta clasificación las aguas se dividen en C₁: salinidad baja, apta para riego; C₂: salinidad media, apta para riego; C₃: salinidad alta, apta para riego en suelos con buen drenaje; C₄: salinidad muy alta, no es apta para riego salvo en suelos muy permeables y con buen drenaje; C₅: salinidad excesiva, no es apta para riego salvo en casos excepcionales con resguardo de características del suelo anteriores; C₆: salinidad excesiva, no apta para riego. Los extremos del intervalo de concentración salina son: 0.25 a 2.25 dS/m (diecisiemen/metro).

Peligrosidad de Sodificación: este problema aparece cuando la acumulación de sodio intercambiable con el suelo produce un deterioro en la permeabilidad y la estructura de la base sólida. El índice que permite evaluar el riesgo de sodificación es el R.A.S que se calcula según la ecuación 1, donde las concentraciones de los cationes se expresan meq/l. La clasificación es la siguiente; S₁: agua con bajo contenido en sodio, apta para riego; S₂: agua con contenido medio en sodio, con peligro de acumulación de sodio en el suelo; S₃: agua con alto contenido en sodio, con gran peligro de acumulación de sodio en el suelo; S₄: agua con muy alto contenido en sodio, no aconsejable para riego salvo que haya baja salinidad.

$$RAS = Na / [(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2]^{1/2} \quad (1)$$

Estudios previos realizados para evaluar estos aspectos sobre efluentes tratados en un reactor UASB de características similares instalado también en la planta depuradora de líquidos cloacales de la ciudad de Salta, han demostrado que dicho efluente presenta una Peligrosidad Salina media y Peligrosidad Sódica baja y que además, puede aplicarse en la mayoría de

los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de Sodio intercambiable, dado el bajo valor de RAS (1,3) (Paroni, 1997).

Contaminantes tóxicos

En cuanto a la presencia de metales pesados, determinados productos químicos orgánicos y compuestos tóxicos en general, que originan riesgos en la salud, estos elementos ingresan a la cadena de alimentación por alimentos directos o por la alimentación para animales. Los metales pesados en particular se acumulan en buena parte en los lodos durante el tratamiento, por lo cual las concentraciones de los mismos en los efluentes tratados en general son bajas (Saenz Forero, 1992).

Entre las sustancias mencionadas, el Cd tiene la particularidad de que es rápidamente absorbida por vegetales pero no es fitotóxico. Sin embargo es muy tóxico para el hombre, acumulándose en hígado y riñones. Por esta razón en varios países las normas de uso de aguas tratadas y lodos residuales del tratamiento en suelos agrícolas, se han basado en la cantidad de cadmio presente (Saenz Forero, 1994).

En cuanto los hidrocarburos del petróleo presentes en las aguas residuales, pueden producir un efecto directo sobre las plantas al disolver los tejidos. La disminución en el crecimiento se puede atribuir a la sofocación de las plantas causada por el desplazamiento del aire de los poros por los hidrocarburos o por la falta de oxígeno debido al aumento de la actividad microbiana. Además, durante la descomposición microbiana, pueden encontrarse compuestos con azufre y manganeso en cantidades que resulten tóxicas. En estudios realizados también se detectó daño a membranas celulares, reducción en la transpiración y aumento en la respiración. La gravedad de los efectos detectados dependen tanto de los constituyentes y cantidad de producto, de las condiciones ambientales y de las especies de plantas. Ha habido una diferenciación, además, entre los efectos agudos y rápidos causados por aceites livianos y los efectos crónicos y lentos resultantes de los aceites pesados. Un grupo a tener en cuenta al analizar la toxicidad de los hidrocarburos del petróleo es el de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), ya que las plantas pueden acumular este grupo de compuestos. A una concentración igual o menor al 1% (p/p) de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), se espera que la reducción en la producción de las plantas sea muy baja o nula. El valor guía propuesto por el Instituto Americano de Petróleo, 1% de HTP, tiene la finalidad de proteger la vida vegetal y el agua subterránea. (Mc Millen *et al.*, 2001)

Existe poca información sobre la toma por las plantas de compuestos químicos orgánicos sintéticos que estén presentes en las aguas de riego. Los compuestos orgánicos sintéticos como pesticidas y los bifenilos policlorados (PCB), contenidos en el agua de riego, están relativamente inmóviles en el suelo y no se absorben por las plantas, pero si aparecen en la leche de animales alimentados con esos pastizales (Saenz Forero, 1992).

Los objetivos planteados en el presente trabajo fueron los siguientes: a) evaluar la calidad del efluente tratado en el sistema combinado y b) determinar la viabilidad de su reuso en riego agrícola y acuicultura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema combinado: El trabajo se desarrolló en la ciudad de Salta, el clima se define como subtropical con estación seca. La temperatura ambiente media anual es de 16,5 °C (Arias y Bianchi, 1996). El sistema presenta 2 reactores UASB en serie (R3000 y R800), seguidos de un sistema de 5 lagunas de maduración en serie. El sistema de lagunas fue sobredimensionado expreso para su estudio y evaluación. La planta piloto se encuentra ubicada en el predio de la planta depuradora de líquidos cloacales de la ciudad de Salta; el servicio se encuentra concesionado a la empresa Aguas de Salta S.A. En la Figura 1 se muestra un esquema del sistema combinado a escala piloto, la cual fue descrita en trabajos anteriores (Seghezzeo, 2004; Arena, 2005; Arena, 2006). El afluente que ingresa al sistema combinado se encuentra pretratado en rejillas y desarenadores, siendo captado en la cámara partidora de sedimentadores primarios. Los reactores UASB presentan las siguientes características; R3000: altura (h) = 3.95 m; diámetro (d) = 1 m; volumen (V) = 3.102 m³; R800: h = 3.95 m; d = 0.5 m; V = 0.766 m³. Las lagunas de maduración tienen un volumen unitario promedio de 1.4 m³ y una profundidad media de 0.95 metros, parámetro que las caracteriza como *lagunas de maduración*, en la Tabla 1 se detallan las dimensiones de dichas lagunas. Los reactores UASB, las lagunas y los gasómetros fueron construidos de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV). El tiempo de residencia hidráulico en los reactores es de seis (6) horas aproximadamente y en las lagunas de maduración es de quince (15) días.

En este trabajo se ha realizado un seguimiento del proceso de decaimiento bacteriano en la totalidad del sistema combinado y particularmente en las lagunas de maduración. También se tiene registro de la temperatura del líquido y de pH.

El diseño de las lagunas de estabilización, en este caso de *maduración*, se realizó considerando que el efluente debe cumplir con el límite máximo de 1000 NMP/100 mL, recomendado por la OMS para riego irrestricto, valor que se considera aceptable para descarga de líquidos cloacales tratados en cursos de agua de la Provincia de Salta, aunque la legislación local establece un máximo de 2000 NMP/100 mL (SeMADeS, 2001). Los valores de las constantes cinéticas para el dimensionamiento fueron tomados de von Sperling (1996) y Liberal *et al.* (1998).

Para el dimensionamiento de las lagunas se consideró que la tasa de muerte bacteriana de *Escherichia coli*, tomada como indicador de contaminación bacteriológica en líquidos cloacales sigue una cinética de primer orden, de acuerdo a lo originalmente propuesto por Marais (1974).

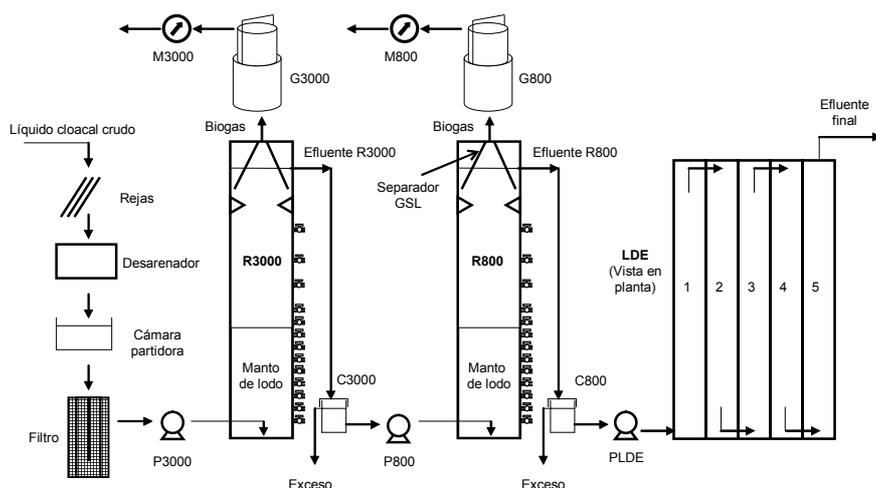


Figura 1: Diagrama de flujo del sistema combinado.

Toma de muestras y técnicas analíticas: La caracterización del efluente fue realizada mediante el análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en muestras compuestas de 24 horas. La temperatura ambiente y del líquido se midió en los distintos componentes del sistema con un termómetro digital marca Keithley. El pH se determinó in situ con un pHímetro portátil marca Hach. Para los análisis bacteriológicos se tomaron muestras puntuales en envases estériles. Las determinaciones se realizaron siguiendo las técnicas definidas en los métodos estándar (Standard Methods, 1995) y modificaciones, o mediante los micrométodos Hach aprobados para informes por la United States Environmental Protection Agency (USEPA). Los análisis bacteriológicos para determinar la concentración de *coliformes totales* (CT) y *coliformes fecales* (CF) se realizaron utilizando la Técnica de Tubos Múltiples. La Alcalinidad, Conductividad, DBO y DQO se determinaron utilizando el Método de Titulación con Ácido Sulfúrico, Conductimétrico, Manométrico (Hach) y Digestión con Dicromato (Hach) respectivamente. La totalidad de las determinaciones con excepción de DBO se realizaron sobre muestras enteras, pero el efluente de las lagunas también fue filtrado a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/C de 1.2 mm de poro para retener algas. Sobre la muestra filtrada se determinó DBO y también DQO. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA-INENCO), dependiente del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 5 se muestran los resultados promedios e intervalos de confianza obtenidos para los diferentes parámetros analizados en el sistema (Iribarnegaray, 2006).

PARÁMETRO	E R3000	S R3000	S R800	S Lagunas
pH	7,58 ± 0,07	7,68 ± 0,08	7,79 ± 0,10	8,65 ± 0,18
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	182,0 ± 7,4	188,2 ± 6,2	193,6 ± 6,0	111,3 ± 8,1
SDT (g/L)	0,30 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,30 ± 0,01
DQO (mg/L)	441 ± 41	80 ± 5	53 ± 5	92 ± 8 (44 ± 5)
DBO ₅ (mg/L)	226 ± 80	62 ± 62	40 ± 26	(28 ± 18)
CF (NMP/100 mL)	3,60 x 10 ⁸	9,30 x 10 ⁷	3,60 x 10 ⁵	2,30 x 10 ²
Amonio (mg NH ₃ /L)	24,5 ± 7,0	38,3 ± 16,4	35,0 ± 12,1	1,1 ± 2,1
Nitritos (mg NO ₂ -/L)	0,05 ± 0,1	0,03 ± 0,06	0,03 ± 0,04	0,01 ± 0,02
Nitratos (mg NO ₃ -/L)	3,5 ± 1,7	3,3 ± 2,2	1,3 ± 0,8	11,9 ± 14,6
Fósforo (mg P/L)	3,6 ± 3,5	3,9 ± 3,3	4,3 ± 2,9	2,5 ± 2,1
Sulfuros (mg S ₂ -/L)	0,18 ± 0,13	0,08 ± 0,05	0,02 ± 0,03	n.s.d.
Sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ /L)	40,5 ± 6,9	16,5 ± 1,0	11,0 ± 13,7	30,0 ± 3,9

Tabla 5: Valores promedio de pH, Alcalinidad, Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), Coliformes Fecales (CF), Amonio, Sulfuros, Sulfatos, Fósforo y Nitratos en los distintos componentes del Sistema Combinado. Entre paréntesis muestras filtradas para la extracción de algas.

Calidad Físicoquímica de los efluentes

Puede observarse que en las lagunas el pH sufrió un aumento considerable atribuible al consumo de CO₂ del sistema por la fotosíntesis producida por las algas, con un valor promedio en el líquido de salida de la última de 8,65 ± 0,18. La alcalinidad en cambio, mostró un descenso que se debería a la nitrificación del Amonio (Yanézz Cossío, 1993), alcanzando un valor promedio de 11,3 mg CaCO₃/L.

La remoción de materia orgánica en términos de DQO en las lagunas fue negativa debido a la producción de algas como resultado de la significativa concentración de nutrientes y la acción de la radiación solar (indispensable para la eliminación de los organismos patógenos). Como muestran los valores entre paréntesis para DBO y DQO, las muestras del efluente de las lagunas libres de algas evidenciaron incluso remoción de materia orgánica, mostrando que las lagunas tienen capacidad de remover la materia orgánica remanente del tratamiento anaeróbico. Cuando los efluentes de las lagunas se van a utilizar para riego o piscicultura no resulta necesaria la eliminación de algas del mismo, ya que constituyen nutrientes para plantas y peces. Igualmente, a pesar del aumento en la concentración de DQO, el efluente de las lagunas cumple holgadamente con las exigencias de la legislación local para descarga a cursos de agua, sin necesidad de un filtrado de las algas antes de la disposición final (SeMaDeS, 2001).

Solo se realizaron tres análisis de los restantes parámetros durante la experiencia, lo que limita un análisis profundo de los resultados, de todas formas los mismos muestran una alta remoción de nutrientes, fundamentalmente en las lagunas, cuyos efluentes cumplen holgadamente con los límites de descarga establecidos por la legislación provincial para descarga a cuerpos de agua superficiales (SeMaDeS, 2001).

El Amonio tuvo un aumento en su concentración en los reactores UASB para luego prácticamente desaparecer en las lagunas, debido a su liberación a la atmósfera, a la nitrificación y el consumo por parte de las algas (Yanézz Cossío, 1993). La norma provincial establece un máximo de 20 mg/L. La concentración de Nitratos fue muy baja tanto en el influente al sistema como en la salida de los reactores anaeróbicos, aumentando su concentración en las lagunas a causa de la oxidación (nitrificación) del Amonio. Los Nitritos tuvieron una baja concentración a lo largo del sistema, fundamentalmente en las lagunas, debido a los procesos oxidativos. El Fósforo experimentó una remoción promedio de 40,6 % en las lagunas, siendo la concentración del efluente del sistema de 2,55 mg P/L, siendo este valor muy inferior al máximo permitido (10 mg P/L) por la citada norma provincial.

Los valores promedio de pH, SDT, Amonio, Nitratos, Nitritos, Fosfatos y Sulfuros, analizados a la salida de la última laguna de maduración cumplen además con los niveles guías de calidad nacional (Ley 24051, 1992) y normas extranjeras citadas precedentemente (Canadá, CE, 1991), para protección de vida acuática e irrigación.

Salinidad y toxicidad de los efluentes

Tal como se mencionó en la parte introductoria, estudios previos informados por Paroni (1997) han demostrado la aptitud para riego de estos efluentes tratados en un Reactor UASB. Dado que las lagunas de maduración no afectan la composición salina del efluente, no existirían restricciones de uso atribuibles a esta causa. Los componentes tóxicos no han sido evaluados en este estudio; reconocidos investigadores locales han obtenido resultados dispares en cuanto a contenidos de metales pesados en efluentes cloacales ó en aguas ambientales receptoras de estos efluentes. Las escasas actividades productivas que podrían originarlos, no generan estos compuestos en cantidades significativas.

Calidad bacteriológica de los efluentes

En cuanto a la calidad bacteriológica de los efluentes, se puede observar que la eficiencia de remoción de patógenos en los Reactores UASB es del 58,5%, valor normal para Reactores UASB, pero insuficiente para lograr las exigencias de calidad sanitaria. Para el tratamiento de líquidos cloacales dentro de rangos de pH del líquido en estudio, se requiere una eficiencia de remoción entre 99,9 y 99,99%, dependiendo de las características del influente y de la concentración máxima permisible en el efluente final, remociones que se pueden lograr utilizando un sistema combinado.

Estudio	E R3000	S R3000	S R800	SL1	SL2	SL3	SL4	SL5	pH
1	4,60 x 10 ⁸	4,60 x 10 ⁶	2,40 x 10 ⁶	NA	NA	NA	NA	NA	9,25
2	3,50 x 10 ⁷	2,10 x 10 ⁶	2,80 x 10 ⁵	NA	NA	NA	NA	ND	8,44
3	1,10 x 10 ⁹	1,10 x 10 ⁷	1,50 x 10 ⁶	6,20 x 10 ⁴	ND	ND	ND	3,60 x 10	8,62
4	1,10 x 10 ¹⁰	1,10 x 10 ⁶	3,50 x 10 ⁵	2,40 x 10 ⁴	2,40 x 10 ⁴	2,40 x 10 ⁴	7,30	7,30	7,63
5	3,60 x 10 ⁷	9,30 x 10 ⁷	3,60 x 10 ⁴	NA	NA	NA	NA	2,30 x 10	8,81
6	NA	NA	ND	4,30 x 10 ⁴	ND	ND	ND	1,50 x 10 ²	7,72
7	3,60 x 10 ⁷	NA	ND	NA	NA	3,60 x 10	NA	3,60	8,85
8	3,60 x 10 ⁸	1,20 x 10 ⁷	2,40 x 10 ⁶	NA	NA	ND	NA	1,40 x 10	9,34
9	2,80 x 10 ⁸	2,00 x 10 ⁶	1,50 x 10 ⁶	NA	NA	2,10 x 10 ²	NA	3,60	8,07
10	7,50 x 10 ⁸	3,60 x 10 ⁶	5,30 x 10 ⁵	NA	NA	2,40 x 10 ²	NA	1,10 x 10 ³	8,56

11	2,80 x 10 ⁸	NA	4,60 x 10 ⁷	4,30 x 10 ⁵	ND	ND	9,10	3,60	8,84
12	4,40 x 10 ⁸	2,70 x 10 ⁷	4,60 x 10 ⁶	4,30 x 10 ⁴	1,50 x 10 ³	1,50 x 10 ³	1,50 x 10 ²	2,30 x 10	8,55

Tabla 6: Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100 ml) en los distintos componentes del Sistema Combinado y pH en la última laguna de maduración.

E=Entrada, **S**=Salida, **R3000**=Reactor de 3.000 L, **R800**=Reactor de 800 L, **L1**=Laguna N° 1, **L2**=Laguna N° 2, **L3**=Laguna N° 3, **L4**=Laguna N° 4, **L5**=Laguna N° 5. **NA**: No Analizado **ND**: No Detectado.

Como puede observarse en la Tabla 5, las lagunas de maduración tuvieron un funcionamiento óptimo, cumpliendo con todos los objetivos de un tratamiento terciario, mostrando una remoción de Coliformes Fecales de 99,93 %, permitiendo una remoción total (R3000 + R800 + Lagunas) de 99,9999 %.

En la Tabla 6 se muestran los resultados de estudios puntuales realizados sobre el sistema con la finalidad de determinar la remoción de patógenos en cada una de las lagunas. Esta Tabla contiene los números geométricos promedio por 100 ml de Coliformes Fecales en las distintas corrientes que conforman el mismo.

En la totalidad de los muestreos realizados el efluente tratado que sale de la última laguna de maduración cumple con el nivel guía de calidad microbiológica recomendado por las directrices sanitarias (OMS, 1989) para uso de cultivos que comúnmente se consumen crudos, que es el más estricto (NMP de CF < 1000/100 ml). Este requerimiento de calidad se alcanza inclusive en la laguna precedente (L4) y en algunos casos además, en la tercera laguna de maduración. Es oportuno recordar que el conjunto de lagunas fue sobredimensionado a los fines del presente estudio, de manera de poder determinar fehacientemente el número de lagunas o la permanencia hidráulica mínima necesaria para lograr la calidad bacteriológica recomendada. Lo dicho puede hacerse extensivo al empleo de estos líquidos en acuicultura.

No fue posible determinar la remoción de huevos de nemátodos intestinales en el presente estudio, no obstante lo cual se puede inferir que, constituyendo las parasitosis una endemia regional, es muy probable que el tiempo de permanencia de 15 días en las lagunas de la planta piloto, resulte insuficiente para lograr una adecuada sedimentación de los mismos, lo que comprometería la calidad parasitológica del efluente tratado y limitaría sus posibilidades de reuso. La implementación de lagunas a escala completa debería contemplar una permanencia mínima del líquido de 20 ó 21 días para asegurar el reuso en piscicultura y riego irrestricto.

CONCLUSIONES

- El sistema de lagunas de maduración, como post-tratamiento de reactores UASB, muestra una remoción promedio de Coliformes Fecales de 99,93 %, permitiendo una remoción total del sistema combinado (Reactores UASB más Lagunas de Maduración) del 99,9999 %.
- La concentración de gérmenes coliformes fecales del efluente del sistema combinado (UASB + Lagunas de maduración) a escala piloto, es holgadamente inferior al valor guía de las Directrices de la OMS y resulta, por lo tanto, muy adecuada para su empleo en riego y piscicultura.
- La calidad microbiológica recomendada por la OMS se alcanza en la cuarta y en algunos casos, en la tercera laguna de la serie.
- La concentración de nutrientes y del contenido salino del efluente final del sistema, en comparación con lo establecido en las normas aplicables, permiten su empleo en riego en una amplia gama de cultivos agrícolas.

REFERENCIAS

- 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.
- Arena A., Liberal V. y Cuevas C. (2005). Eficiencia de Remoción de Bacterias Coliformes en un Sistema UASB y lagunas de maduración. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, ASADES.
- Arena A., Liberal V., Cuevas C., Tejerina W. (2006). "Evaluación de Lagunas de Maduración como post-tratamiento de Reactores UASB". Revista Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 19 pp. 9-13, ISSN 0328-932X.
- CEPIS. (2002). Introducción y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura. Saenz Forero, R.
- CEPIS. (1997). Lagunas de estabilización: diseño, construcción, operación y uso de los efluentes.
- Environment Canada. (1991). Review and Recommendations for Canadian Interim Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites. Scientific Series N° 197. IWD - WQB. Ottawa.
- European Drinking Waters Standars. Journal of the American Water Works Association. Junio 1991, págs. 48-55.
- Iribarnegay M. (2002). Puesta en marcha y operación de un sistema combinado de tratamiento de líquidos cloacales con reactores UASB y lagunas de estabilización. Publicado en "Avances en energías renovables y medio ambiente", 6 (1) 329 – 5184.
- Liberal V., Cuevas C., Trupiano A. y Bohuid E. (1998). Determinación de constantes cinéticas en lagunas de estabilización de Salta, en Actas 23° Congreso Interamericano de Saneamiento y Medio Ambiente, Lima, Perú.
- Marais G. (1974). Faecal bacteria kinetics in stabilization ponds. Journal of the Environmental Engineering Division.
- OMS. (1989). Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura; Serie de informes técnicos 778. Ginebra
- Mc Millen, S.J., Kerr J.M. y Nakles D. V. (2001). Composition of Crude Oils and Gas Condensates. En: Pellini, Leandro (2006) www.tesis.bioetica.org.

- Paroni A., Cuevas C., Liberal V. (1997). "Caracterización de los efluentes de un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y sus posibles reúsos en Agricultura y Acuicultura". IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente, Caracas, Venezuela.
- Richard (1951), Laboratorio de Riverside, USDA. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura N° 60. Departamento de Agricultura de EE.UU.
- Saenz Forero R. (2004). Riego y Salud; modernización y avance en el uso de aguas negras para la irrigación.
- Seghezze L. (2004). Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions. Tesis Doctoral. Wageningen University, Wageningen, Holanda.
- SeMADeS (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Salta). (2001). Resolución N° 011/00.
- 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.
- von Sperling M. (1996). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 3, Lagoas de estabilização. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

ABSTRACT

Waste water reutilization for irrigation and fish culturing is potentially valuable due to its nutrients content, but it is required the accomplishment of sanitary quality, as well. This paper deals with physical, chemical and microbiological evaluation of sewage treated in a combined system of two Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors and five Waste Stabilization Ponds (WSP), pilot plant scale, in order to assess feasibility for agriculture irrigation and aqua culturing. It was found that fecal Coliforms concentration in the final effluent is largely less than the specified value of WHO guidelines, been very attractive its use in irrigation and fish culturing. The nutrients concentration and saline content of final effluent allow ample utilization for many crops of agricultural interest.

Key words: unrestricted irrigation, waste-water treatment and reutilization.