

EVALUACION DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE ANDALGALÁ, CATAMARCA

M. Saracho¹, M. Flores, C. Rodriguez²

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas
Facultad de Ciencias Agrarias

Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO. – CONICET
Universidad Nacional de Catamarca, Avda. Belgrano 300 C.P. 4700 – Catamarca
E-mail: martasaracho@gmail.com

Recibido: 13/08/12; Aceptado: 03/10/12

RESUMEN: Las lagunas de estabilización son reactores bioquímicos que remueven del efluente la materia orgánica y los microorganismos patógenos. La ciudad de Andalgalá cuenta con un sistema de tres módulos de lagunas facultativas que funcionan en paralelo, diseñado para obtener un efluente para riego irrestricto. No se conoce el grado de abatimiento bacteriano bajo las condiciones de operación actuales. El objetivo es evaluar el sistema desde el punto de vista de la remoción bacteriana y determinar su eficiencia respecto a la estimada por el modelo de diseño. Se determinaron concentraciones de EC, DBO₅, OD, pH y se aplicó el modelo de flujo disperso. La eficiencia del módulo en funcionamiento y la estimada por el modelo de diseño son coincidentes. La concentración de EC en el efluente no se ajusta a las exigencias para riego, pero sí la predicha por el modelo de diseño si se emplearan dos módulos para depurar el caudal de ingreso.

Palabras clave: lagunas de estabilización, remoción bacteriana, EC, modelos de diseño.

INTRODUCCION

El tratamiento y disposición adecuada de los desagües cloacales es un importante problema a resolver fundamentalmente en los países en desarrollo. Informes de la OMS (2011), señalan que la provisión de servicios mejorados de agua y saneamiento reduciría en un 90% la incidencia de enfermedades gastrointestinales, una de las causas más importante de la morbilidad mundial. Además unos 2.500 millones de personas carecen de sistemas de saneamiento mejorados y según las proyecciones se estima que se reducirá a 2.400 millones para 2015 (OMS, 2012).

En la República Argentina, 20 millones de personas no tienen acceso al sistema cloacal y solo el 10% del volumen total de los efluentes domésticos recolectados por redes de desagües cloacales son tratados por sistemas de depuración (CEPIS, 2003). Los países en vía de desarrollo, en la búsqueda de soluciones para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, con aplicación de tecnología de bajo consumo de energía y dentro de los procesos biológicos, han promovido la utilización de lagunas de estabilización.

A pesar de su aparente simplicidad, las lagunas de estabilización son reactores bioquímicos complejos que requieren un adecuado diseño (Jordão, 2005). Existen distintos diseños de estos sistemas, entre los cuales se encuentra el integrado por tres lagunas facultativas en serie, cuya finalidad es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionado principalmente por las algas presentes (Sainz, 2007).

La gran ventaja de estas lagunas es que no producen malos olores (Mendonça, 2006). Son estanques de profundidad reducida (1.5 a 2.5 m), que se caracterizan por poseer una zona aerobia próxima a la superficie y una zona anaerobia en el fondo. La actividad fotosintética de las algas ejerce un papel preponderante en la capa superior, al mantener un cierto nivel de oxígeno disuelto que varía de acuerdo a la profundidad y hora del día (Correa, 2008). En la zona del fondo se depositan los sólidos suspendidos que sufren un proceso de reducción por estabilización anaerobia y en la zona intermedia están las bacterias facultativas que dan el nombre a las lagunas y que pueden sobrevivir en las condiciones cambiantes de oxígeno disuelto típicas de estas lagunas a lo largo del día y del año (Correa, 2008). La extensión relativa de estas dos zonas es función de la carga aplicada y de la eficacia de los dos mecanismos de adición de oxígeno al medio: la fotosíntesis y la reaeración a través de la superficie. Es importante que estas lagunas cuenten con un área superficial que favorezca dichos mecanismos, por lo cual uno de los criterios de dimensionamiento más usado se basa en la carga orgánica superficial, relación entre la carga de DBO₅ afluente y el área superficial (Ferrer y Seco, 2008).

En estos sistemas bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades. Estos son utilizados por las algas en su crecimiento, cerrando así el ciclo (Aguirre et al, 2007).

La remoción y muerte de microorganismos patógenos en estas lagunas depende de varios factores tales como sedimentación, radiación solar, pH elevado, altas concentraciones de oxígeno disuelto, acción bactericida de toxinas producidas por las algas,

¹ Profesional Subsecretaría de Planificación de Recursos Hídricos, Gob. Catamarca

² Profesional Subsecretaría de Ciencia y Tecnología, Gob. Catamarca

presencia de predadores, temperatura y tiempo de permanencia (Ovruski, 2001). En un sistema de cinco lagunas en serie con cinco días de retención en cada una, las bacterias patógenas son reducidas hasta un 99,999% (cinco ciclos logarítmicos en base 10) (Ovruski, 2001).

En la provincia de Catamarca el porcentaje de población con acceso a saneamiento es del 30%, siendo la media nacional del 43% (INDEC, 2001) y solo siete de las localidades con servicio de recolección tratan los efluentes, utilizando para este fin lagunas de estabilización. Entre ellas se encuentra la ciudad de Andalgalá, capital del departamento homónimo, ubicado a 248Km al norte de la ciudad Capital de la provincia de Catamarca, (figura 1), a una altitud media de 973msnm y con una población actual estimada de 15.108 habitantes (CEOSA, 2008). El clima es cálido: árido de sierras y bolsones, con una temperatura media mensual de 11,5°C y una precipitación promedio mensual de 6,25 mm, en el mes más frío, Julio. (Estación Meteorológica Minera Agua Rica, Chaquiago –Andalgalá).



Figura 1. Ubicación geográfica de la Ciudad de Andalgalá



Figura 2. Planta de tratamiento de efluentes Ciudad de Andalgalá

El sistema de tratamiento de efluentes cloacales, está integrado por la planta, ubicada al sudeste de la ciudad de Andalgalá (figura 2) y colectores principal y secundarios donde descargan por gravedad los efluentes de esta ciudad, del distrito de Huachaschi, de Malli y de Huaco. La planta fue diseñada para tratar en una primera etapa un caudal medio diario de 22,8 l/s y está constituida por: una canaleta Parshall, para aforar el caudal de ingreso; una cámara de rejas, donde se eliminan los sólidos gruesos; un desarenador; una cámara partidora de caudal y un sistema de lagunas de estabilización. La cámara de rejas está conformada por dos módulos paralelos que permiten la operación en forma unitaria o simultánea (figura 3); cada módulo tiene dos rejas de hierro, con separación de 2 pulgadas y de 1 pulgada respectivamente (figura 4). Al salir de esta cámara, el líquido ingresa al desarenador, también dividido en dos módulos, donde decantan los sólidos finos que no fueron detenidos en la cámara de rejas, pasando luego a la cámara partidora de caudal y de allí a las lagunas de estabilización. De acuerdo al proyecto de diseño el sistema de lagunas está integrado por tres módulos de lagunas que funcionan en paralelo. Cada módulo está compuesto por una laguna facultativa primaria (figura 5), una secundaria (figura 6) y otra terciaria, conectadas en serie y dimensionada para depurar un caudal máximo de 7,6 l/s (CEOSA, 2008).



Figura 3. Cámara de rejas del sistema de lagunas de estabilización de la ciudad de Andalgalá.



Figura 4. Desarenador del sistema de lagunas de estabilización. Sitio de muestreo.

El proyecto contempla la incorporación a partir del año 2013 de dos módulos más al sistema, lo que permitirá depurar mediante cinco módulos en paralelo, un caudal de 38 l/s, para satisfacer la demanda de una población de diseño de 19.330 habitantes.



Figura 5. Lagunas Facultativas Primarias. Sistema de tratamiento de efluentes de Andalgalá.



Figura 6. Lagunas Facultativas Secundarias. Sistema de tratamiento de efluentes de Andalgalá.

El sistema de lagunas de la ciudad de Andalgalá es diferente al existente en otras localidades de la provincia de Catamarca donde las plantas de depuración están compuestas generalmente por lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración conectadas en serie. El sistema en estudio fue diseñado para obtener un efluente cuya calidad se ajuste a las directrices de la OPS / OMS para la categoría tipo A, que permita regar todo tipo de cultivo, inclusive los que se consumen crudos. Sin embargo no se conoce el grado de depuración del mismo ni la eficiencia de abatimiento bacteriano, es decir no ha sido evaluada la incidencia del diseño sobre la calidad del efluente obtenido bajo las condiciones de operación actuales, teniendo en cuenta que en este momento funciona un solo módulo.

Por las razones expuestas, este trabajo tiene como objetivo evaluar desde el punto de vista de la remoción bacteriana, el comportamiento actual del sistema de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Andalgalá, provincia de Catamarca y determinar en función de los parámetros operativos su eficiencia respecto a la estimada por el modelo de diseño.

MATERIALES Y METODOS

Como indicador del grado de depuración microbiológica se utilizó la concentración de EC y la carga orgánica superficial aplicada se determinó en función de la DBO₅ del líquido crudo, el caudal medio diario y el área superficial de la laguna primaria. Este valor fue comparado con la carga orgánica superficial máxima que puede soportar una laguna facultativa primaria manteniendo el comportamiento aeróbico, que responde a la ecuación (1) (Yañez, 1986).

$$C_{s\text{máx}} = 357,40 * 1,085^{(T-20)} \quad \text{donde: } T \text{ (}^\circ\text{C)}: \text{ temperatura media mensual mínima del líquido} \quad (1)$$

Los parámetros fisicoquímicos determinados fueron: caudal, temperatura, OD y pH. Los caudales del módulo en operación fueron aforados utilizando vertederos Rettger, que responden a la ecuación (2), mediciones que fueron contrastadas con las lecturas en la canaleta Parshall.

$$Q = 1,84 l H^{\frac{3}{2}} \quad \text{donde: } l \text{ (m) ancho del vertedero y } H \text{ (m) tirante del líquido} \quad (2)$$

El tiempo de retención hidráulico teórico (t) fue calculado en función del caudal medio y del volumen, para las distintas lagunas de la serie. Se utilizó la relación $R = 2/3 (V/Q)$ para evaluar este parámetro en condiciones reales de operación, que tiene en cuenta los cortocircuitos y zonas muertas que se producen en el sistema (Sáenz, 1992).

Para estimar la remoción bacteriana se aplicó el modelo de flujo disperso propuesto por Thirimurthi (1969), asumiendo una reacción de primer orden para la degradación de bacterias (3)

$$\frac{N}{N_0} = \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}} \quad (3)$$

Donde : $a = (1 + 4K_{bT} t d)^{1/2}$ $K_{bT} = K_{b20} \Theta^{T-20}$ $K_{b20} = 1,1 d^{-1}$ $\Theta = 1.07$ (Yáñez, 1968)

$$d = \frac{X}{(-0,26118 + X \ 0,25392 + X^2 \ 1,01368)} \quad (\text{Yáñez, 1986}).$$

Técnicas de análisis

Se determinó la concentración de EC, la DBO₅, OD y pH utilizando las técnicas descritas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF; 2005) y se efectuó un análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos.

Muestreo

Se extrajeron muestras compensadas del líquido afluente a la planta de tratamiento (figura 4) y a la salida de las lagunas facultativas primaria, secundaria y terciaria. El líquido cloacal crudo fue muestreado en el canal distribuidor principal. El muestreo fue realizado con una frecuencia mensual durante un año (Junio de 2011 y Junio de 2012).

RESULTADOS Y DISCUSION

En tabla 1 se muestran las características dimensionales de las lagunas que integran el módulo 3 del sistema en estudio. Las mismas corresponden al plano conforme a obra (CEOSA, 2008).

LAGUNAS	Largo Fondo (m)	Largo Superficie (m)	Ancho Fondo (m)	Ancho Superficie (m)	Prof (m)	Área Sup. (m ²)	Volumen de Retención (m ³)
Facultativa Primaria	167	180	32	45	1.8	8100	12013
Facultativa Secundaria	87	100	32	45	1,8	4500	6494
Facultativa Terciara	87	100	32	45	1,8	4500	6494

Tabla 1: Parámetros dimensionales de las lagunas facultativas.

La profundidad de las lagunas (1,80 m), se encuentra dentro del rango sugerido (1m a 2m), para evitar el crecimiento de malezas y la consiguiente proliferación de mosquitos (Sainz,2007). El área superficial de la laguna primaria (8100 m²) se ajusta a lo recomendado por Metcalf y Eddy (1995), de 8000 m² a 40000 m² para este tipo de lagunas.

Laguna Facultativa Primaria	
DBO ₅ (mg/l) del afluente	153±8
Caudal Medio de Ingreso (l/s)	12±6
C _{S A} (Kg DBO/día. ha)	196
C _{S máx} (Kg DBO/día. ha)	214 ⁽²⁾

Referencias: (2) Valor según correlación Yáñez para Lagunas Facultativas para T= 13,7°C

Tabla 2: Caudal y DBO₅ del afluente. Carga Orgánica Superficial Aplicadas y Admisible en lagunas facultativas primarias.

Los valores medios de la DBO₅ del líquido cloacal crudo y del caudal se muestran en la tabla 2. La medida de posición de la DBO₅ corresponde a valores típicos de un líquido cloacal débil (Romero, 1998). La carga orgánica superficial aplicada a la laguna facultativa primaria, calculada respecto a la DBO₅ media y caudal medio del período de estudio se ajusta a los criterios de dimensionamiento recomendados para estos sistemas (Rojas y León, 1990; COFAPYS, 1993).

En la tabla 3 se presentan los valores de las constantes utilizadas en las estimaciones realizadas con el modelo de flujo disperso para la remoción bacteriológica. Se muestran los valores obtenidos para las condiciones reales de operación del Módulo 3, el único en funcionamiento.

Constantes	F1	F 2	F3
t (d)	11,6	6,3	6,3
R (d)	7,7	4,2	4,2
a	2,29	2,28	2,28
X (L/A)	4,0	2,2	2,2
d	0,21	0,38	0,38
K _{bT} (1/d) Para T=13,7°C	0,65	0,65	0,65

Tabla 3. Valores de las constantes del modelo aplicado para estimar la remoción bacteriológica.

El tiempo de retención hidráulico real (R) del sistema de lagunas facultativas (16,1 días) no se ajusta a lo reportado por Jordão (2005) y Ovruski (2001), que hallaron una remoción bacteriana entre 99,99% a 99,9999%, es decir de 4 a 6 ciclos logarítmicos para un sistema de tres lagunas en serie como las del módulo en estudio, para un período de retención de 25 días.

La relación largo/ancho (4:1) de la laguna primaria corresponde a lo sugerido por Rojas y León (1990) para minimizar cortocircuitos. Desde el punto de vista del diseño y según los valores estimados para el coeficiente de dispersión: $0,21 < d < 0,38$ el comportamiento hidráulico de las lagunas facultativas de la ciudad de Andalgalá, corresponde a un flujo disperso, más próximo a un flujo pistón ($d = 0$) que a mezcla completa ($d = \infty$). Esas condiciones permiten una mayor precipitación de sólidos sedimentables, mejor estabilización de la materia orgánica e inactivación de organismos entéricos (Polprasert y Bhattarai, 1985).

	pH	Temperatura (°C)	OD (mg/l)
Líquido Afluente	7,05 ± 0,04	20,6 ± 0,4	1,2±0,5
Salida Facultativa Primaria	7,95 ± 0,08	18,8 ± 0,6	3,4± 0,1
Salida Facultativa Secundaria	8,07 ± 0,06	18,2 ± 0,5	4,8± 0,3
Salida Facultativa Terciaria	8,54 ± 0,04	17,8 ± 0,3	6,2±0,4

Tabla 4. Valores medios de variables abióticas.

Según se observa en la tabla 4, el pH del agua residual cruda y de cada una de las lagunas se encuentra dentro del rango en el que se desarrollan los procesos biológicos: 5,5-9,5 (Sainz, 2007). El valor medio de esta variable para el efluente crudo, corresponde a valores típicos para aguas residuales domésticas (Kiely, 2003). La concentración de oxígeno disuelto (3,4mg/l - 6,2mg/l) evidencia de la actividad fotosintética y las temperaturas registradas en el líquido (17°C-18,8°C) favorecen la velocidad de remoción bacteriana (Mendonça, 2006). La concentración de oxígeno disuelto a la salida del módulo en estudio (OD > 3mg/l) se ajusta a las exigencias de la normativa vigente para vuelco a cuerpos receptores o para reuso (Res. SAyA N° 65/05).

En la tabla 5 se muestra los resultados experimentales de la concentración de EC al ingreso y egreso de cada laguna facultativa del módulo en operación. La media geométrica de la concentración de EC del líquido que ingresa al sistema de tratamiento es de $8 \cdot 10^6$ UFC /100ml, encontrándose por debajo de cifras típicas (10^8 UFC/100 ml) en Latinoamérica en las aguas residuales crudas (Jordão, 2005).

	Laguna Facultativa Primaria	Laguna Facultativa Secundaria	Laguna Facultativa Terciaria	Módulo 3
EC ₀ (UFC/100ml) MG	$8 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^6$
IC _{MG} (EC ₀) 95%	[7,6 10^6 ; 8,4 10^6]	[1,4 10^5 ; 2,6 10^5]	[4,1 10^3 ; 4,710 ³]	[7,6 10^6 ; 8,4 10^6]
EC _s (UFC/100ml) MG	$2 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^4$	$9,8 \cdot 10^3$	$9,8 \cdot 10^3$
IC _{MG} (EC _s) 95%	[1,3 10^5 ; 2,710 ⁵]	[4,2 10^4 ; 4,610 ⁴]	[1,2 10^3 ; 2 10^3]	[1,2 10^3 ; 2 10^3]
Ef (%)	98	78	77,7	99,9

Tabla 5. Concentración de EC a la salida de cada laguna de la serie del Módulo 3. Porcentaje de abatimiento bacteriano

Se logró una remoción de tres ciclos logarítmicos, correspondiendo un ciclo a la laguna primaria, uno a la secundaria y uno a la terciaria. Analizando los porcentajes típicos de mortandad patogénica en estos sistemas (de 4 a 6 ciclos logarítmicos), se observa que en las lagunas estudiadas no se alcanzó dicha remoción. Por lo que, si bien la eficiencia de todo el sistema es de 99,9 %, la media geométrica de las concentraciones de EC detectadas en el efluente del sistema no se ajusta a las exigencias de la OMS para riego de cultivos que se consumen crudos, campos de deporte y/o parques públicos (Aires y Mara, 1997), ni a lo exigido ($< 10^3$ UFC/100ml) por la normativa provincial vigente para uso agrícola (Res.SAyA N° 65/05).

El proyecto de diseño plantea la operación de un sistema que está integrado por tres módulos de lagunas que funcionan en paralelo pero en la actualidad se encuentra trabajando un solo módulo, que trata un caudal de 12 l/s, superior al caudal máximo de diseño (7,6 l/s). Por lo expuesto, se consideró necesario estimar la calidad bacteriológica que tendría el efluente, si se empleara uno módulo ó dos módulos para depurar el caudal del líquido que ingresa al sistema, aplicando el modelo de flujo disperso.

Las concentraciones de EC a la salida de cada laguna de la serie en estudio, estimadas por el modelo de diseño para las dos situaciones de operación planteadas, se muestran en la tabla 6. Los valores predichos con respecto al abatimiento bacteriano para el primer caso son coincidentes con los datos experimentales, obteniéndose un efluente cuya calidad no se ajusta a las exigencias para riego irrestricto.

En el segundo caso y para un tiempo de residencia estimado en cada módulo de 32 días, el modelo predice que en las lagunas primarias se obtendría un abatimiento de tres ciclos logarítmicos, en las secundarias y terciarias un ciclo logarítmico y a la salida del sistema cinco ciclos logarítmicos.

		Laguna Facultativa Primaria	Laguna Facultativa Secundaria	Laguna Facultativa Terciaria	Módulo
Un Módulo	EC ₀ (UFC/100ml) MG	8 10 ⁶	1,1 10 ⁵	1,7 10 ⁴	8 10 ⁶
	EC _s (UFC/100ml) MG	1,1 10 ⁵	1,7 10 ⁴	2 10 ³	2 10 ³
Dos Módulos	EC ₀ (UFC/100ml) MG	8 10 ⁶	8,6 10 ³	4,4 10 ²	8 10 ⁶
	EC _s (UFC/100ml) MG	8,6 10 ³	4,4 10 ²	22	22

Tabla 6. Concentración de EC estimada por el modelo de Flujo Disperso, a la salida de cada laguna de la serie, para uno y dos módulos en operación.

En la figura 7 se muestran los porcentaje de abatimiento bacteriano alcanzado por cada laguna de la serie según estimaciones del modelo aplicado. Se observa que en el caso de un módulo en operación y para un tiempo de residencia hidráulico real de 16,1 días se alcanzaría en la laguna primaria un porcentaje de remoción análogo al logrado con dos módulos, existiendo marcadas diferencias en la eficiencia estimada por el modelo para las lagunas secundarias y terciarias, operadas bajo caudales de 12 l/s (un módulo) y 6 l/s (dos módulos).

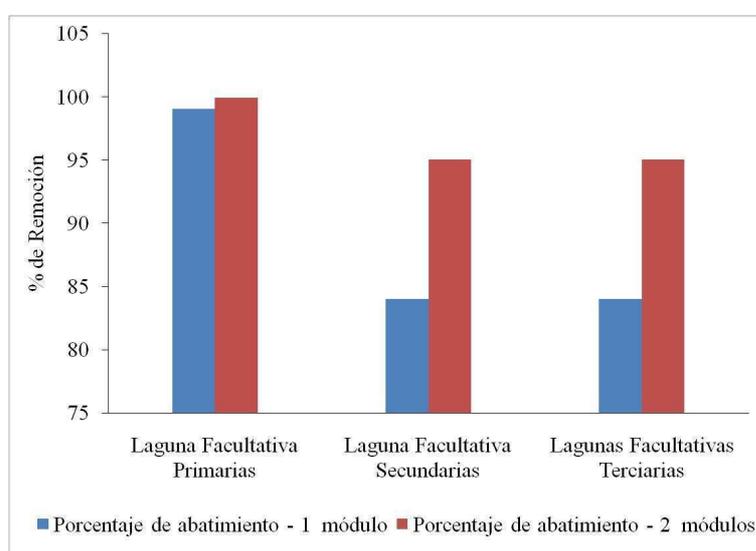


Figura 7. Porcentajes de abatimiento bacteriano estimados por el modelo de diseño para uno y dos módulos en operación.

En cuanto a la eficiencia total del sistema, el modelo predice una remoción bacteriana de 99,9% para un módulo en operación y de 99,999% para el caso de dos módulos, con lo cual la calidad del efluente depurado se ajustaría al objetivo propuesto al diseñar el sistema.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista del diseño y según los valores estimados para el coeficiente de dispersión, el comportamiento hidráulico de las lagunas facultativas de la ciudad de Andalgalá corresponde a un flujo disperso y los parámetros dimensionales se encuentran dentro del rango recomendado por los investigadores consultados.

El pH del agua residual cruda y de cada una de las lagunas se encuentra dentro del rango en el que se desarrollan los procesos biológicos y las temperaturas registradas en el líquido favorecen la velocidad de remoción bacteriana.

La concentración de OD a la salida del módulo en estudio se ajusta a las exigencias de la normativa vigente para vuelco a cuerpos receptores o para reuso.

La eficiencia actual del único módulo en funcionamiento del sistema en estudio, evaluada con los datos experimentales y la estimada por el modelo de diseño son coincidentes.

La media geométrica de las concentraciones de EC detectadas en el efluente del sistema no se ajusta a las exigencias de la OMS para riego de cultivos que se consumen crudos, campos de deporte y/o parques públicos ni a las exigencias de la normativa provincial vigente para uso agrícola, porque el tiempo de retención es inferior al necesario para la remoción deseada.

La calidad bacteriana del efluente, predicha por el modelo de diseño, se ajusta a las exigencias para riego irrestricto si se emplearan dos módulos para depurar el caudal del líquido crudo que ingresa al sistema.

NOMENCLATURA

a: Constante adimensional

$C_{S\text{ máx}}$: Carga orgánica superficial máxima (Kg DBO/ha.d)

$C_{S\text{ A}}$: Carga orgánica superficial aplicada (Kg DBO/ha.d)

CEOSA: Construcciones Electromecánicas del Oeste S.A

d: Coeficiente de dispersión (adimensional)

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno para t=5 días

EC: Escherichia coli

E_f: % de remoción bacteriana

$K_{b\text{ T}}$: Constante de mortalidad bacteriana a la temperatura T (1/d)

$K_{b\text{ 20}}$: Constante de mortalidad bacteriana a la temperatura 20°C (1/d)

N: Número de bacterias en el efluente/100ml

N_0 : Número de bacterias en el afluente/100 ml

OD: Oxígeno disuelto (mg/l)

Q: Caudal (m³/s)

R: Tiempo de Residencia hidráulica considerando cortocircuitos y zonas muertas (d)

X: relación largo/ancho de la laguna

REFERENCIAS

- Aguirre N.; Mejías R.; Morales M. (2007). Variación nictemeral de la calidad del agua en las lagunas de estabilización del Municipio de La Ceja, Antioquia. Revista Facultad de Ingeniería N° 40. GAIA. Medellín. Colombia.12-15
- APHA.-A.W.W.A.-W.E.F. (2005). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Edición 21. pp 5-10; 5-13. United States of America.
- Ayres, R. y Mara D. (1997). Análisis de aguas residuales para su uso en agricultura. Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio. 1° edición, pp. 2 – 16. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- CEOSA,(2008). Manual de operación y mantenimiento. Planta de tratamiento de efluentes. Lagunas Facultativas de Andalgá, Provincia de Catamarca.
- CEPIS, 2003. Inventario de la Situación Actual de las Aguas Residuales Domésticas en Argentina. Lima, Perú, pp 35 – 37.
- Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento.(COFAPyS). (1993). Normas de Estudio, Criterios de Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales para Localidades de hasta 30.000 Habitantes. Volumen II. N11.10.1-19. Buenos Aires.
- Correa G. (2008). Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fé de Antioquia, Colombia. Tesis magister en ingeniería. Medellín, Colombia. pp 22-24
- Ferrer J y Seco A.(2008) Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. 1° edición, pp 140-148. Alfaomega Grupo Editor, México.
- Jordão E. (2005). Tratamiento de Esgotos Domésticos. 4° EDICA. pp 667-708. Editoração Eletrônico. Río de Janeiro.
- INDEC. (2001). Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda del año 2001.
- Kiely G. (2003). Ingeniería Ambiental, 1ª edición, pp 672-680. Mc Graw Hill, Colombia.
- OMS (2011). Revisión anual mundial de saneamiento y agua potable (GLAAS) de ONU-AGUA de 2010: focalizando los recursos para mejores resultados.
- OMS (2012). Informe 2012 OMS/UNICEF: progresos sobre el agua potable y saneamiento. http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2012/fast_facts/es/index.html.
- Ovruski B. (2001), Microbiología Sanitaria y Ambiental, pp 23-45. Mc Graw Hill, São Paulo.
- Polprasert Ch.y Bhattarai K. (1985). Modelo de Dispersión para Estanques de Estabilización de Aguas Residuales, pp 4-8. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú.
- Mendonça S. (2006). Sistema de Lagunas de Estabilización, pp 26-41. Mc Graw Hill, Bogotá, Colombia.
- Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, pp 35-43. MacGraw-Hill.
- Romero Rojas (1998). Acuitratamiento por Lagunas de Estabilización. 3° Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. pp 40-56,119-136, 140, 144-155.
- Reglamento para el control del vertido de líquidos residuales Res. SAyA N° 65/05. Catamarca.
- Rojas R y León G.(1990). Lagunas Facultativas en Serie y en Paralelo. Criterios de Dimensionamiento. CEPIS. Lima. Perú, pp. 7-8.
- Sáenz R.(1992). Predicción de la Calidad del Efluente en Lagunas de Estabilización. OPS/OMS. Washington.
- Sainz, J. (2007). Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales. Fundación EOI, pp. 54-67.
- Thirumurthi (1969). Design Principles of Waste Stabilization Ponds. Journal of the Sanitary Engineering División,A.S.C.E. 93 (Sa2) 311.
- Yáñez, F.(1986). Reducción de Organismos Patógenos y Diseño de Lagunas de Estabilización de Países en Desarrollo. Seminario Regional de Investigación sobre Lagunas de Estabilización. CEPIS/OPS/OMS. Loma, Perú.

ABSTRACT

Waste stabilization ponds are biochemical reactors, which remove the effluent's organic matter and pathogens. Andalgala City has a system of three modules facultative ponds operating in parallel, designed to obtain an effluent for unrestricted irrigation. Not known the degree of removal bacterial under current operating conditions. The objective is to evaluate the system from the viewpoint of bacterial removal and to compare the efficiency with the estimated by the design model. EC, BOD₅, DO concentrations and pH were determined and the model of dispersed flow was applied. The module efficiency in operation agrees with estimates from the design model. The concentration of EC in the effluent does not comply with the requirements for irrigation, but if two modules were used for wastewater treatment is achieved the concentration predicted by the design model.

Keywords: Water stabilization ponds, bacterial removal, EC, design models