

MONITOREO DE UNA LAGUNA ANAEROBIA CON BAFLE DIVISOR PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SANTA FÉ DO SUL (SÃO PAULO)*

MONITORING OF AN ANAEROBIC POND WITH DIVIDING BAFFLE FOR WASTEWATER TREATMENT OF SANTA FÉ DO SUL (SÃO PAULO)

Iván Andrés Sánchez Ortiz**

Docente Asistente, Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Facultad de Ciencias Pecuarias,
Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia

Tsunao Matsumoto***

Docente Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería,
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", UNESP, Campus de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil

Fecha de recepción:
25 de julio de 2012
Fecha de aprobación:
18 de septiembre de 2012

Palabras clave:

Aguas residuales urbanas, baffle divisor, laguna anaerobia, monitoreo.

RESUMEN

La investigación del presente artículo, tuvo como objetivo principal, evaluar el desempeño de la laguna anaerobia, perteneciente a la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad Santa Fé do Sul, estado de São Paulo, Brasil. Se realizó un estudio batimétrico de la laguna de estabilización anaerobia con baffle divisor para formar un perfil de acumulación de lodos; se monitorearon el caudal y algunos parámetros de calidad del agua durante 24 horas consecutivas, asimismo, el afluente bruto y el efluente para diagnosticar el comportamiento de dicha unidad de tratamiento.

Las eficiencias medias de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y, la demanda química de oxígeno en la laguna fueron 88,94% y 74,53% respectivamente, estos valores se atribuyeron a la configuración hidráulica favorable, así como también, a la variabilidad de las características del líquido afluente a la estación. La unidad de tratamiento reportó eficiencias de remoción de 61,42% para coliformes totales; 87,95% para coliformes fecales; 18,26% para sólidos totales y, 28,21% para sólidos suspendidos totales durante el periodo de monitoreo.

Los resultados sugirieron que la planta requiere labores de mantenimiento de la laguna anaerobia, especialmente, en cuanto a la remoción controlada de lodos acumulados, de forma que esta unidad incremente su contribución en la eficiencia global de la planta de tratamiento, garantizando alta calidad del efluente final para minimizar el impacto sobre el ambiente y, eventuales riesgos a la salud pública en la zona de descarga y aguas abajo del mismo.

* Artículo Resultado de Investigación.

** *Master of Science* en Ingeniería Ambiental y Recursos Hídricos, *Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"*, UNESP, *Campus de Ilha Solteira*, São Paulo, Brasil; Especialista en Alta Gerencia, Especialista en Docencia Universitaria, Ingeniero Civil, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.
Correo electrónico: iaso@udenar.edu.co

*** *Doctor y Master of Science* en Ingeniería Hidráulica y Saneamiento, *Universidade de São Paulo*, USP, São Carlos, Brasil; Ingeniero Civil, *Fundação Valeparaibana de Ensino*, FVE, Brasil.
Correo electrónico: tsunao@feis.unesp.br

Key words:

Urban wastewater, dividing baffle, anaerobic pond, monitoring.

ABSTRACT

The research presented throughout this article, the main objective was to evaluate the performance of the anaerobic lagoon unit, owned wastewater treatment plant in the city Santa Fé do Sul, state of São Paulo, Brazil. We conducted a bathymetric survey of anaerobic stabilization pond baffle divider to form a profile of sludge buildup; the flow is monitored and some water quality parameters for 24 consecutive hours, also the raw influent and effluent to diagnose the performance of said processing unit.

The average removal efficiencies of biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand in the gap were 88,94% and 74,53% respectively, these values being attributed to a favorable hydraulic configuration and also to the variability the characteristics of the liquid effluent to the station. The treatment unit removal efficiencies reported 61,42% for total coliform; fecal coliform 87,95%; 18,26% for total solids and 28,21% for total suspended solids during the monitoring period.

The results suggested that the plant requires maintenance of the anaerobic lagoon, especially as regards the removal of accumulated sludge controlled so that this unit increase its contribution to the overall efficiency of the treatment plant, thus ensuring high quality of effluent end to minimize the impact on the environment and potential risks to public health in the discharge zone and downstream of it.

Una laguna de estabilización es una estructura simple para embalsar aguas residuales con el objeto de mejorar sus características sanitarias. Las lagunas de estabilización se construyen de poca profundidad (2 a 4 metros) y con períodos de retención relativamente grandes, por lo general de varios días (Organización Panamericana de la Salud, OPS & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS, 2005). Cuando las aguas residuales se disponen en la laguna, en ella se realiza de manera espontánea un proceso de autodepuración o estabilización natural, con ocurrencia de fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico (Mansur, 2000).

De acuerdo con Kellner y Pires (1998), las lagunas de estabilización se proyectan para el tratamiento de aguas residuales por medio de interacción de las biomásas (algas, bacterias, protozoarios, entre otros), como grandes reservorios donde las aguas negras fluyen, entrando y saliendo después de un período de retención definido, contando únicamente con los procesos naturales de purificación biológica que ocurren en cualquier cuerpo natural de agua.

Las lagunas de estabilización, son usualmente el método más recomendable para tratamiento de aguas residuales (AR) de origen doméstico y municipal en países en vías de desarrollo (Peña & Mara, 2004). La facilidad de operación y mantenimiento, así como también los bajos costos en términos operacionales, hacen de este tipo de sistemas una opción

atractiva para el tratamiento de las aguas residuales urbanas; sin embargo, normativas ambientales como la colombiana por medio del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), disponen que el tratamiento por lagunas de estabilización, puede ser aplicable en casos en los cuales la biomasa de algas y los nutrientes que se descargan en el efluente, puedan ser asimilados sin problema por el cuerpo receptor.

De acuerdo con Crites y Tchobanoglous (1998), las lagunas de estabilización se pueden clasificar, teniendo en cuenta la concentración de oxígeno disuelto y, la fuente que suministra el oxígeno necesario para la asimilación bacteriana de la materia orgánica presente en las AR; los cuatro principales tipos de sistemas de lagunas clasificados de acuerdo a los anteriores criterios son: anaerobia, donde existe condición anaerobia a lo largo de toda la profundidad; aerobia, en ellas la fotosíntesis proporciona oxígeno para garantizar condiciones aerobias en toda la columna de agua; facultativa, donde la zona superficial es aerobia y la zona subsuperficial puede ser anóxica o anaerobia; de mezcla parcial – aireada, la aireación superficial produce una zona aerobia que puede alcanzar la totalidad de la profundidad, dependiendo del ingreso de oxígeno y la profundidad de la laguna.

Según Uehara y Vidal (1989), entre los factores naturales que pueden afectar las condiciones hidráulicas y biológicas, que forman parte del proceso

de tratamiento de AR en lagunas de estabilización, están fenómenos meteorológicos y variables locales como: vientos, temperatura, precipitaciones, evaporación, y radiación solar. Existen factores físicos que suelen estar involucrados en el diseño de este tipo de sistemas de tratamiento, este es el caso del área superficial y la mezcla, que a su vez se encuentra muy afectada por la intensidad y dirección del viento, así como también por la temperatura.

De acuerdo con von Sperling (2002), en las lagunas de estabilización la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se procesa según una reacción de primer orden (donde la tasa de reacción es directamente proporcional a la concentración del sustrato), por ello, el régimen hidráulico de la laguna influye en la eficiencia del sistema.

Las lagunas anaerobias se diseñan para el tratamiento de residuos líquidos con alto contenido de materia orgánica (MO), su profundidad oscila entre 5 y 10 metros (m) y su tiempo de retención hidráulica (TRH) varía entre 20 y 50 días (d) (Crites & Tchobanoglous, 1998); algunos autores recomiendan profundidades un poco menores para el dimensionamiento de este tipo de lagunas en zonas próximas a la línea ecuatorial, del orden de 2,5 a 5,0 m (Yañez, 1993), o de 3,0 a 4,5 m (Kellner & Pires, 1998).

El objetivo principal del trabajo investigativo, fue diagnosticar la eficiencia del desempeño de la laguna anaerobia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Santa Fé do Sul (São Paulo). La investigación involucró un estudio batimétrico de la laguna, de igual manera, la toma de datos de parámetros de calidad del agua en el afluente bruto y el efluente de la unidad de tratamiento, proceso realizado durante 24 horas consecutivas. Con base en los resultados obtenidos, se diagnosticó el comportamiento de la laguna en términos de la remoción de MO, sólidos, coliformes totales y fecales, y se formularon algunas recomendaciones.

MATERIAL Y MÉTODOS

Santa Fé do Sul

La ciudad Santa Fé do Sul se sitúa al noroeste del estado de São Paulo, en las coordenadas: 20°12'42,65" de latitud Sur y 50°55'35,36" de longitud Oeste, a una altitud de 390m y una distancia de 620 kilómetros (km) de la capital del estado, en una región conocida como Grandes Lagos. Según el Instituto Brasileiro

de Geografía e Estatística, (IBGE, 2011), el municipio posee una población total de 29.235 habitantes; de los que 28.084 pertenecen a la zona urbana, en un área territorial total de 208,9 km². De acuerdo con el Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura de la Universidade Estadual de Campinas (CEPAGRI, 2012), el municipio posee clima de sabana tropical, con lluvias de verano y sequía de invierno e índice pluviométrico en torno de 1.266 milímetros (mm) anuales.

PTAR Marruco – Santa Fé do Sul

Santa Fé do Sul posee dos PTAR, la primera denominada Estación del Córrego da Mula, que trata el 65% de las AR de la ciudad; la otra estación objeto de este estudio está localizada en el Distrito Industrial, específicamente en las coordenadas 20°13'04,98" de latitud Sur y 50°56'07,16" de longitud Oeste, llamada PTAR Marruco, en la que se trata el 35% de las aguas residuales de la ciudad; la Figura 1 presenta una foto satelital de la PTAR, con la disposición de las lagunas y su entorno más cercano.



Figura 1. Fotografía satelital de la PTAR de Santa Fé do Sul.

Fuente: Google Earth.

La estación posee como dispositivos de pretratamiento: una rejilla de barras paralelas con espaciamiento de 25 mm, un desarenador con dos cámaras en paralelo, y una segunda rejilla con espaciamiento de barrotes de 15 mm; para efectos de medición del caudal afluente dispone de una canaleta Parshall de 0,23 m de abertura de garganta, después de la cual, el líquido fluye a través de un canal rectangular para distribuir el caudal de entrada a la laguna anaerobia por medio de dos tuberías semisumergidas. En la Figura 2 y 3 se presentan fotografías que ilustran la zona de entrada del afluente a la estación, la primera rejilla, el desarenador, el canal de distribución y los tubos semisumergidos.



Figura 2. Fotografía de la primera rejilla y el desarenador de dos cámaras.
Fuente: los autores.



Figura 3. Fotografía del canal de distribución y los tubos laterales.
Fuente: los autores.

El sistema de tratamiento referenciado, consta de dos lagunas de estabilización, la primera de ellas anaerobia con baffle divisor, la segunda de tipo facultativa. El efluente final de la estación es vertido en la corriente Marruco o Jacu Queimado, que le otorgan el nombre a la PTAR.

En la Figura 4 se presenta un esquema de la vista en planta de la estación, cuya laguna anaerobia de formato trapecoidal con baffle divisorio central posee como dimensiones: 55,00 m de base menor, 90,00 m de base mayor, 60,00 m de ancho y 3,50 m de profundidad media, con un área superficial de 4.600 m² y un volumen útil de aproximadamente 9.500 m³. Según los tipos de lagunas sugeridos por Spellman (2009), por recibir el afluente sin pasar por

tratamiento primario, se trata de una laguna de estabilización para tratamiento del agua residual cruda, razón por la que no se puede considerar como una laguna de oxidación.

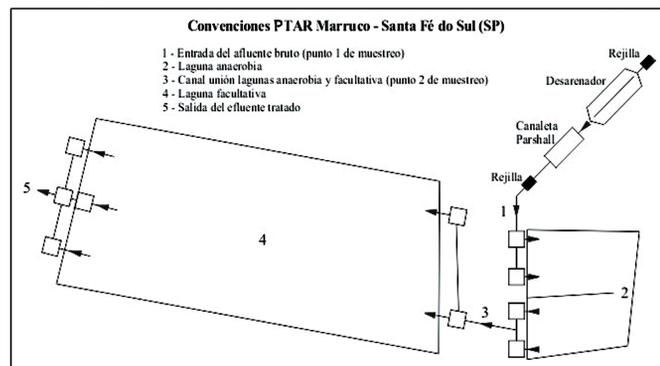


Figura 4. Vista en planta de la PTAR de Santa Fé do Sul con los puntos de muestreo.
Fuente: los autores.

Caracterización del afluente bruto y del efluente de la unidad de tratamiento

Se monitorearon durante 24 horas consecutivas el afluente bruto y el efluente de la laguna, esto con el fin de verificar la variación de parámetros importantes en el funcionamiento de la unidad de tratamiento de la PTAR, para este propósito se midieron: caudal, temperatura, pH, DBO, DBO filtrada, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), sólidos totales fijos (STF), sólidos totales volátiles (STV), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos fijos (SSF), sólidos suspendidos volátiles (SSV), coliformes totales (CT), y coliformes fecales (CF) del afluente bruto y el efluente de la unidad de tratamiento. Se tomaron muestras del agua a cada hora, se almacenaron en cajas de icopor, se refrigeraron y transportaron al laboratorio, teniendo en cuenta el plazo de tolerancia estipulado para muestras sin preservación química.

Los muestreos se realizaron en los puntos 1 y 3 de la Figura 4. Se utilizaron recipientes libres de impurezas e interferentes para la muestra, asimismo, se almacenaron en frascos de polipropileno y de polietileno transparente para su transporte y almacenamiento.

Para la medición de los parámetros anteriormente citados, se adoptaron las metodologías de análisis preconizadas en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association, APHA, The American Water Works Association, AWWA & Water Pollution Control Facility, WPCF, 1998)* en las modalidades: analítica, colorimétrica y espectrofotométrica. Se midió

el caudal en la canaleta Parshall; con instrumentos portátiles se midió la temperatura y el pH; los otros parámetros se midieron en el Laboratorio de Saneamiento del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira. Los datos registrados se almacenaron en planillas electrónicas para su compilación, confección de tablas y gráficos, y posterior interpretación de los resultados obtenidos.

Levantamiento batimétrico

Este se ejecutó con el propósito de verificar los perfiles de acumulación de sólidos sedimentados y, estimar la cantidad de lodo acumulado en el fondo de la laguna, así como el volumen útil disponible en la unidad. Para esto, en la laguna se determinaron 9 perfiles longitudinales espaciados a cada 7,5 m y 16 perfiles transversales a cada 5 m; se realizaron mediciones batimétricas para 111 puntos en la unidad de tratamiento. La obtención de los datos batimétricos, se realizó con equipos de medición de profundidad y consistencia del lodo acumulado y, se mantuvo el alineamiento de los perfiles por medio de equipos ópticos con una embarcación auxiliar. Los datos recopilados, se almacenaron en planillas electrónicas para utilización en la elaboración de los perfiles y cálculo de volúmenes acumulados, realizados con programas de diseño asistidos por computador.

RESULTADOS

Batimetría de la laguna anaerobia

La PTAR se compone de dos lagunas operadas en serie, una anaerobia con baffle y una facultativa, con área aproximada de 15.000 m², de los que aproximadamente 4.650 m² son de la laguna anaerobia y 10.350 m² de la laguna facultativa. El volumen estimado para la primera fue de 9.500 m³, y se registró que parte de él está ocupado por lodos, lo que provoca una reducción de la profundidad y de su volumen útil.

El volumen estimado de lodo acumulado en la laguna anaerobia fue de 3.850 m³ que representa una altura media de 0,713m y una masa de lodo húmedo de 3'927.204 kilogramos (kg) -según las densidades de lodo reportadas por Andreoli, Von Sperling y Fernández (2001)-, localizado principalmente en la 1ª célula, conforme está indicado en la Figura 4, que ilustra una vista en planta de la disposición de los ejes longitudi-

nales y transversales, así como ejemplos de los perfiles obtenidos que permitieron visualizar la acumulación de lodo.

La concentración de los lodos acumulados se originó principalmente en el canal uno de la laguna, hecho evidenciable en los perfiles longitudinales ilustrados en la Figura 5. La acumulación de los lodos, puede generar caminos preferenciales del flujo y cortocircuitos, que afectan de manera drástica la eficiencia de la PTAR.

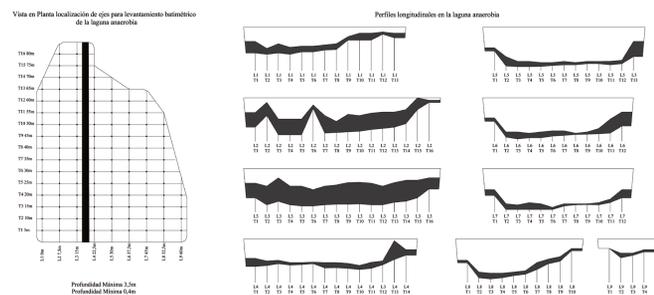


Figura 5. Vista en planta y perfiles longitudinales y transversales de la laguna anaerobia.

Fuente: los autores.

A partir de los datos del levantamiento batimétrico, el volumen útil de la laguna anaerobia fue de aproximadamente 9.500 m³; con base en este dato, se estima que el TRH en la laguna anaerobia fue 3,5 d, cuyo valor estaría de acuerdo con el tiempo de retención recomendado por Von Sperling (2002) de 3,0 a 6,0 d para lagunas anaerobias con remoción de 50% de la carga de DBO.

Los resultados obtenidos, son útiles para planificar la remoción del lodo de los puntos más críticos de acumulación dentro de la laguna. Los lodos acumulados, indican que la limpieza periódica de las dos cámaras del desarenador no se ha realizado según lo determinado en el Manual de Operación de la PTAR, que recomienda limpieza diaria de una de las cámaras para su operación alternada, garantizando la remoción inicial de los sólidos más densos del AR, contribuyendo a la conservación por más tiempo del volumen efectivo de tratamiento de la laguna.

Otro aspecto observado en el terreno y que sugiere la necesidad de un mayor control operacional y mantenimiento, fue la considerable cantidad de sólidos flotantes de pequeño tamaño, este es el caso de colillas de cigarrillo y fragmentos plásticos, que se observaron en la primera célula, como se puede apreciar en la fotografía de la Figura 3 y, con mayor claridad, en la parte izquierda de la Figura 6.



Figura 6. Fotografía de la acumulación de sólidos flotantes en la celda 1 de la laguna anaerobia.

Fuente: los autores.

La adopción de las medidas de operación alternada de las dos cámaras del desarenador a la entrada de la PTAR y su limpieza diaria, pueden reducir los riesgos de formación de zonas muertas y caminos de flujo preferencial, garantizando por un periodo mayor el volumen efectivo de la laguna anaerobia, alargando de esta manera, el tiempo necesario hasta un mantenimiento en términos de la remoción de lodos.

Caracterización del afluente bruto y efluente de la laguna anaerobia

Con base en los 25 muestreos realizados en los dos puntos de colecta, se caracterizó el AR del afluente bruto, así como el efluente de la laguna anaerobia a partir de los 14 parámetros de control citados. La Figura 7 muestra la variación horaria de la DBO y DQO afluentes a la estación, así como la variación del caudal que ingresó durante el período del estudio.

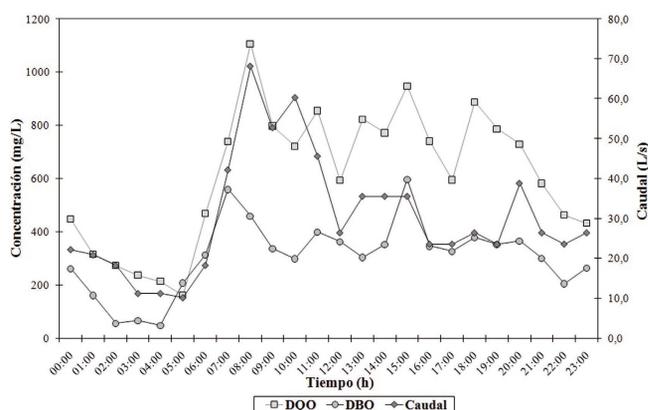


Figura 7. Variación del caudal, DQO y DBO afluentes a la PTAR a lo largo de 24h.

Fuente: los autores.

El comportamiento del caudal afluente a la PTAR fue similar a la variación diaria reportada en la li-

teratura, con un valor medio ponderado estimado en 30,36 litros/segundo (L/s), un caudal diario de aproximadamente 2.7334 m³/d. El caudal a lo largo del periodo monitoreado varió entre los valores mínimo y máximo de 10,2 L/s y 68,12 L/s.

Al considerar la acumulación de lodo de 3.850 m³ en la laguna anaerobia, el volumen útil pasó a ser de 5.650 m³, con ello el TRH se redujo a aproximadamente 2,0 d. mencionado valor estuvo por debajo del recomendado para el tipo de laguna, ya que al disminuir el tiempo de permanencia del líquido a tratar en la estación, se pueden generar problemas en la eficiencia de remoción de DBO y de otros parámetros de control.

La concentración de la DBO afluente a la estación varió entre 48 y 547 miligramos/Litros (mg/L) con promedio de 306 mg/L, mientras que la concentración de la DQO varió entre 161 mg/L y 1107 mg/L con un promedio de 619 mg/L. A partir de los datos registrados, se verificó la relación existente entre las concentraciones de la DQO y la DBO brutas del orden de 2 según lo afirmado por autores como Tchobanoglus y Burton (1991) y Uehara y Vidal (1989).

Con base en las concentraciones de DBO y DQO y, los caudales medidos en el afluente a la PTAR, se estimaron los valores de la carga orgánica aplicada en la estación, que fueron del orden de 939 kgDBO/d, equivalente a una concentración media de 344 mg/L; y de 1940 kgDQO/d, para una concentración media de 710 mg/L

Para el análisis de la carga volumétrica que ingresó a la PTAR, se consideró el volumen disponible de la laguna anaerobia y los valores obtenidos de DBO y DQO; con ellos y al considerar la acumulación de lodo, la tasa de carga volumétrica estimada fue de 0,166 kg/DBO/m³/d y 0,343 kgDQO/m³/d. Estos valores están por encima del límite recomendado por Uehara y Vidal (1989), de 0,04 a 0,08 kgDBO/m³/d, pero dentro de lo citado por Von Sperling (2002), de 0,01 a 0,35 kgDBO/m³/d. Pese a la buena eficiencia de remoción de carga orgánica -que será comentada más adelante-, la laguna anaerobia puede estar operando cerca del límite de carga admisible y de acumulación de lodo. Para mayor acumulación de lodos, es previsible que la sobrecarga se refleje en desequilibrios en el proceso de tratamiento y reducción de la eficiencia.

La Tabla 1 presenta un resumen de los valores medios calculados en los parámetros analizados,

tanto para el afluente bruto, como para el efluente de la laguna anaerobia.

El pH del afluente registró valores que variaron de 6,3 a 7,2 con promedio de 6,8; en el efluente de la laguna anaerobia, varió de 6,6 a 7,4 con promedio de 6,8. En general el pH estuvo cercano a la neutralidad, con ligera tendencia a la acidez, permaneciendo dentro de los valores reportados por la literatura.

Tabla 1. Resumen de valores medios de las características del afluente bruto y el efluente de la laguna anaerobia de la PTAR Marruco.

Parámetros	Afluente bruto	Efluente laguna anaerobia
pH	6,86	6,8
Temperatura (°C)	29,9	28,9
DQO (mg/L)	618,8	225,1
DBO (mg/L)	305,7	80,2
Coliformes totales (NMP/100mL)	3,24x10 ⁷	7,78x10 ⁶
Coliformes fecales (NMP/100mL)	4,05x10 ⁶	1,54x10 ⁵
Sólidos totales (mg/L)	597	526
Sólidos totales fijos (mg/L)	174	199
Sólidos totales volátiles (mg/L)	422	326
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	273	193
Sólidos suspendidos fijos (mg/L)	77	60
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	196	133

Fuente: los autores.

La temperatura medida en el afluente de la PTAR osciló entre 28,1 y 32,6°C, con promedio de 30,0°C; en el efluente de la laguna anaerobia varió de 25,2 a 34,0°C y promedio de 28,9°C. Los altos valores se deben a la alta tasa de insolación en el verano, una característica de la región donde está localizada la PTAR estudiada.

Con base en las concentraciones medias registradas para los parámetros medidos, se calcularon las eficiencias medias de remoción de algunos de ellos.

La eficiencia media de remoción de la materia orgánica por parte de la laguna anaerobia durante el periodo monitoreado fue de 87,44% de la DBO y 70,35% de la DQO. La alta eficiencia de remoción de la DBO pudo deberse a la presencia del baffle divisorio, que de acuerdo con Pedahzur, Nasser, Dor, Fattal y Shuval (1993), incrementa la distancia de circulación del líquido y a su vez contribuye a que

la configuración hidráulica se asemeje a la de un reactor tipo pistón, que según Von Sperling (2002), es el tipo de configuración que reporta mayores eficiencias en lagunas de estabilización, lo que es respaldado por estudios como los realizados por: Nielson, Middlebrooks y Porcella (1973), Muttamara y Puetpaiboon (1997) y Cruddas, Ansari, Pursell, Jefferson, Cartmell y McAdam (2011). Otro aspecto que pudo contribuir a obtener los altos valores de remoción de la DBO, es la variabilidad de las concentraciones de materia orgánica en el afluente de la laguna a lo largo del tiempo, pues pese a que el estudio se realizó durante 24 horas consecutivas en un día promedio, el TRH calculado para la unidad de tratamiento fue de cerca de 2 días.

Ya que la laguna anaerobia operó en el límite de su carga volumétrica, mayores acumulaciones de lodo podrían provocar un desequilibrio en el proceso de tratamiento, por esta razón, debe ser sometida a un dragado de los lodos acumulados, principalmente de los localizados en el canal o compartimento inicial, ello favorecerá su desempeño en términos de remoción de sólidos y materia orgánica, ya que aumentará el TRH y la distribución apropiada del flujo.

En los exámenes bacteriológicos realizados al afluente y efluente, se determinó que la variación del número más probable (NMP) de coliformes totales/100mL fue de 2,50x10⁶ a 1,03x10⁸ en el afluente y de 2,00x10⁵ a 4,76x10⁷ en el efluente de la laguna anaerobia; y la variación del NMP de coliformes fecales/100 mililitro (mL) fue de 5,00x10³ a 2,14x10⁷ en el afluente y de 3,90x10³ a 1,29x10⁶ en el efluente. En cuanto a la remoción de coliformes, la eficiencia reportada por la unidad de tratamiento fue de 61,42% para CT y de 87,95% para CF. Si bien es cierto, los resultados presentados corresponden a la primera laguna de la estación, es importante considerar el aporte de la laguna dentro del trabajo de la PTAR, pues la legislación Brasileira por medio de la Resolución *Conselho Nacional do Meio Ambiente* (CONAMA 357, *Dispõe sobre a Classificação dos Corpos de Água*, Brasil, 2005) estipula que el máximo NMP de CF/100mL en el efluente final debe ser de 1000; por otro lado, un elevado número de CF del efluente de la PTAR incide negativamente en la calidad del agua del cuerpo receptor, ya que la corriente Marruco es uno de los tributarios del Río Paraná, y en las proximidades de su desembocadura, hay fincas que utilizan el río como medio de transporte, de igual

manera, se practica esporádicamente la pesca y la natación, lo que propicia el contacto directo o indirecto con las aguas contaminadas y eventualmente puede acarrear problemas de salud pública.

En el afluente bruto los ST oscilaron entre 116 y 1.476 mg/L (promedio de 597 mg/L), con 32 a 476 mg/L de STF y 70 a 1.282 mg/L de STV; en el efluente de la laguna las concentraciones medias fueron de 526 mg/L de ST, con 199 mg/L de STF y de 326 mg/L de STV. Por los resultados presentados, se afirma que existe remoción de ST en la laguna (eficiencia media de remoción de los ST por parte de la unidad de 18,26%), independiente de la estabilización de la MO que ingresa en dicha unidad de tratamiento, pues la concentración de sólidos totales en el efluente fue menor que en el afluente. Es previsible que al efectuar mantenimiento de la laguna anaerobia por medio de la remoción de los sólidos sedimentados, se logre mejorar la eficiencia de tratamiento de la unidad y en consecuencia, experimente mejorías en relación a la remoción de MO.

Los SST en el afluente variaron de 48 a 724 mg/L (promedio de 273 mg/L), divididos entre SSF de 16 a 272 mg/L, y SSV de 32 a 616 mg/L. En el efluente de la laguna se registraron concentraciones medias de 193 mg/L de SST, con 60 mg/L de SSF y 133 mg/L de SSV, estos resultados reportaron una eficiencia media de remoción de SST de 28,21%.

CONCLUSIONES

El estudio batimétrico indicó que hay una acumulación considerable de lodos principalmente en el primer canal de la laguna anaerobia, con un volumen estimado de 3.850m³, que representa cerca del 40,5% del volumen, lo que reduce su capacidad de tratamiento al trabajar con un TRH menor que el recomendado por la literatura.

La acumulación de los lodos pudo producirse por falta de rigurosidad en la frecuencia de las rutinas de operación y limpieza del desarenador localizado a la entrada de la PTAR, pues según el manual de operación y mantenimiento de la estación, la limpieza de las cámaras del desarenador debe realizarse diariamente.

La laguna reportó una eficiencia media de remoción de 87,44% de la DBO; 70,35% de la DQO; 61,42% de CT; 87,95% de CF; 18,26% de ST y 28,21% de SST, durante el periodo del monitoreo realizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreoli, C., Von Sperling, M. & Fernández, F. (2001) Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final - Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Belo Horizonte, Brasil: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.
- APHA, AWWA & WPCF. (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (18va. ed.). New York, United States of America: Public Health Association Inc.
- Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, CEPAGRI. (2012) Clima dos municípios paulistas. Recuperado el 22 de Julio de 2012, de http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_524.html.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005) Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Recuperado el 15 de Junio de 2012, de <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>.
- Crites, R. & Tchobanoglous, G. (1998) *Small and decentralized wastewater management systems*. United States of America, Boston: McGraw Hill.
- Cruddas, P., Ansari, I., Pursell, N., Jefferson, B., Cartmell, E. & McAdam, E. (2011) Influence of baffle orientation on the start up of anaerobic ponds for low strength domestic wastewater treatment. In: *Proceedings: 9th IWA Specialist Group on Waste Stabilisation Ponds*. Australia: Adelaide, S.A.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. (2011) População por município censo 2010. Recuperado el 10 de junio de 2012, de http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_sao_paulo.pdf.
- Kellner, E. & Pires, E. (1998) *Lagoas de Estabilização-Projeto e Operação*. Rio de Janeiro, Brasil: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES.
- Mansur, A. (2000) *Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários*. Rio de Janeiro, Brasil: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000) Resolución 1096 de noviembre 17 de 2000. Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS. Bogotá, Colombia: Ministerio de Desarrollo Económico.
- Muttamara, S. & Puetpaiboon, U. (1997) Roles of baffles in waste stabilization ponds. *Water Science and Technology*, 35 (8), 275–284.
- Nielson, S., Middlebrooks, E. & Porcella, D. (1973) *Effects of Baffles on the Performance of Anerobic Waste Stabilization Ponds*, Utah Water Research Laboratory Reports, Paper 172. Logan. United States of the America, Utah: Utah Water Research Laboratory College of Engineering, Utah State University.

- Organización Panamericana de la Salud, OPS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS. (2005) *Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización*. Perú, Lima: Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural -UNATSABAR- CEPIS - OPS OMS.
- Pedahzur, R., Nasser, A., Dor, I., Fattal, B. & Shuval H. (1993) The Effect of Baffle Installation on the Performance of a Single-Cell Stabilization Pond. *Water Science & Technology*, 27 (7-8), 45-52.
- Peña, V. & Mara, D. (2004) *Waste Stabilisation Ponds*. The Netherlands: IRC International Water and Sanitation Centre. Cali, Colombia: IRC.
- Spellman, F. (2009) *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. (2da. ed.). United States of the America: Lewis Publishers.
- Tchobanoglus, G. & Burton, F. (1991) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. (3ra. ed.) Metcalf & Eddy Inc.
- Uehara, M. & Vidal, W. (1989) *Operação e Manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas - Série Manuais*. São Paulo, Brasil: Ed. CETESB.
- Von Sperling, M. (2002) *Lagoas de Estabilização - Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*, Vol. III. (2da. ed.) Brasil, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG).
- Yañez, F. (1993) *Lagunas de Estabilización. Teoría, diseño y mantenimiento*. Cuenca, Ecuador: ETAPA.