

Evaluación del desempeño del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá

Efficiency evaluation of the biological filter of the Technological University of Panama

Lanneth Barrera¹, Ada Díaz¹, Ericka López¹, Erasmo Medina¹, Maritzel Rivera¹, Erick Vallester^{2*}
¹Licenciatura en Ingeniería Ambiental – Campus Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá
²Profesor Asesor – Campus Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen Se realizó una evaluación técnica del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Víctor Levi Sasso, el cual es un sistema que se desarrolla de manera aerobia y anaerobia para la depuración de aguas residuales, donde le antecede un tratamiento primario por sedimentación (tanque séptico), antes de verterse a un cuerpo de agua superficial, en este caso el río Curundú. Se analizaron las características fisicoquímicas del agua residual tratada actualmente por este sistema de tratamiento secundario, evaluando parámetros tales como Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos, Sólidos Volátiles, DBO₅, DQO y microorganismos, verificando así la calidad del agua tratada poder determinar la eficiencia de este sistema. A su vez se realizó recomendaciones para mejoras del sistema de acuerdo con los parámetros de funcionamiento analizados.

Palabras clave Agua residual, eficiencia, filtro biológico.

Abstract A technical evaluation of the biological filter of the Technological University of Panama, Víctor Levi Sasso Campus was carried out. The biological filter works under aerobic and anaerobic conditions for the depuration of wastewater. Before the biological filter there is found a primary treatment by sedimentation (septic tank), which helps to contain the wastewater before it is discharge in superficial water bodies of the Curundu River. The physicochemical characteristics of the current wastewater treated by this secondary treatment system were analyzed, evaluating parameters as Suspended Solids, Total Solids, Volatile Solids, BDO₅, COD and microorganisms. In addition, verifications of the wastewater quality were made to determine the effective performance of the system. The development of recommendations for improvements according to its operating parameters are included in this article.

Keywords Wastewater, efficiency, biological filter.

*Corresponding author: erick.vallester@utp.ac.pa

1. Introducción

Es un hecho que el vertido de aguas residuales sin depurar ocasiona daños, en algunos casos irreversibles al medio ambiente, afectando tanto a ecosistemas acuáticos como riparios (hábitats vegetales y comunidades a lo largo de los márgenes y orillas de un río), además de generar riesgos para la salud pública. Por este motivo se hace necesario el tratamiento de estas aguas, antes de su vertido a los cuerpos y masas de aguas superficiales [1].

La Universidad Tecnológica de Panamá genera aguas residuales, provenientes de los edificios que se encuentran dentro del campus. Esta generación de aguas residuales se debe al uso que se les da a las instalaciones, el cual es meramente académico, generando así aguas residuales principalmente de tipo domésticas, que se descargan en un cuerpo de agua superficial (Río Curundú). Con la finalidad de tratarlas, la institución cuenta con un sistema de tratamiento, el cual consiste en: tanque séptico y filtro biológico o percolador.

Se evalúa la calidad de las aguas descargadas por el filtro biológico al cuerpo receptor, de manera que permita determinar la eficiencia actual de esta última etapa del sistema de depuración. La evaluación de la calidad de las aguas se realizó en base al Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2000: Agua. Descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masas de agua superficiales y subterráneas [2], el cual establece si los parámetros analizados cumplen o no cumplen con los límites permisibles.

2. Metodología

El objetivo principal de este estudio fue la evaluación técnica del agua residual actual, realizando un análisis fisicoquímico y biológico para así verificar la calidad del agua tratada. Para ello, se tomaron 10 muestras de agua residual tanto en la entrada (afluente) y salida (efluente) del filtro percolador a las cuales se les realizaron los análisis de DBO₅ (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de

oxígeno), sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, sólidos fijos, pH y temperatura. También se recolectó información bibliográfica complementaria, lo que incluyó visitas a la sede de la universidad en Tocumen, en donde a través de la Dirección de Ingeniería y Arquitectura se facilitaron los planos y memoria técnica de diseño del alcantarillado y del filtro biológico del campus, para así poder comparar los parámetros de diseño con la eficiencia actual del filtro.

2.1 Área de estudio y dimensiones

El filtro biológico o percolador, con coordenadas UTM 997521 N y 660990 E, fue diseñado como un filtro descendente, respecto a las especificaciones que se tenían en el año que se realizó el diseño (1993). Este se basó en el diseño del Alcantarillado Sanitario de la Universidad Tecnológica de Panamá, con las normas del Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), las cuales están vigentes hoy en día. Dentro de los datos a considerar para el diseño, se contempló una población de 10300 estudiantes en la primera etapa de construcción, donde se estimaba para un total de seis (6) edificios, pero inicialmente (en la primera etapa), solo se construyeron tres (3) edificios, en los cuales se albergó el total de población estimada [3]. El medio filtrante del filtro biológico consiste en piedras (canto rodado específicamente) cuyo tamaño oscila entre 2" a 4" de diámetro. Consta de una profundidad de 1.40 m, un ancho de 6 m y un largo de 46 m [4]. Por lo cual, cuenta con un área de lecho filtrante de 276 m² y un volumen de 386.4 m³.

2.2 Muestreos

Para el método de muestreo del agua residual del filtro percolador, se recolectaron 10 muestras, tanto de la entrada (afluente), como de la salida (efluente) para la evaluación de los parámetros DBO₅, DQO, pH, temperatura y sólidos (nomenclatura establecida en la tabla 1), donde se efectuó el análisis de muestras filtradas (solubles) y no filtradas (totales). Se le conoce como muestra filtrada debido a que se pasa una cantidad de muestra a través de un medio poroso o filtro (en este caso se utilizó un papel filtro para análisis cuantitativo de 125 mm Ø), con el propósito de eliminar sólidos presentes (solubles) y la muestra no filtrada representa la composición del cuerpo de agua original (total). Las muestras, incluido el muestreo de caudales, se tomaron en horas mínimas (8:00 a. m. – 9:30 a. m.) y horas pico (12:00 m. – 1:00 p. m.), para el análisis de las muestras.

2.3 Equipos y reactivos

La determinación de DQO se realizó por medio de fotometría con el espectrofotómetro HACH DR/100; la DBO₅ utilizando el equipo oxiTop OC 100. Los sólidos totales, suspendidos, volátiles y fijos se cuantificaron en el influente y efluente del filtro, utilizando la metodología establecida en el

"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", publicada por la A.P.H.A., A.W.W.A. y W.P.C.F. La medición del pH y temperatura se realizaron con el equipo OHAUS Starter 2100.

En un filtro percolador, los organismos predominantes son las bacterias facultativas (Metcalf & Eddy, 1997). Estos organismos se utilizarán como parámetros indicadores en la caracterización del medio donde se desarrollan y en la evaluación de del sistema. Para estas pruebas se evaluó la diferenciación bacteriológica por el método de tinción de Gram.

Tabla 1. Nomenclatura para los días de evaluación de muestreos

N. ° de muestras	Fecha de muestreo
M1	28/8/2917
M2	30/8/2017
M3	28/9/2017
M4	5/10/2017
M5	6/10/2017
M6	12/10/2017
M7	18/10/2017
M8	19/10/2017
M9	25/10/2017
M10	26/10/2017

2.4 Carga hidráulica y orgánica

Los principales factores que hay que tener en cuenta a la hora de predecir el funcionamiento de los filtros percoladores, son las cargas orgánica e hidráulica, y el grado de tratamiento necesario [5]. La carga orgánica, que es la demanda bioquímica de oxígeno aplicado diariamente a una unidad de volumen de medio filtrante, influyendo en la velocidad de metabolismo en la capa biológica. La carga hidráulica, que es el caudal diario que se puede tratar por área del medio filtrante, es decir, la carga por unidad de superficie, que origina las velocidades de arrastre de la biomasa.

2.5 Biodegradabilidad

La relación DBO₅/DQO es un factor importante, ya que indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas, ver tabla 2, característica de algunas sustancias de ser utilizadas como sustrato de microorganismos y producir energía, crear sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y microorganismos.

Tabla 2. Relación DBO/DQO (biodegradabilidad del agua residual. Fuente: (Metcalf & Eddy, 1997)

DBO _s /DQO	Biodegradabilidad del agua residual
≥ 0.4	Alta
0.2-0.4	Normal
≤ 0.2	Baja

3. Resultados

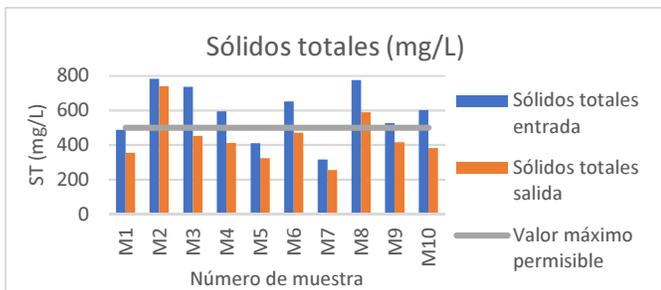
En los resultados que se presentarán a continuación, de los muestreos realizados, se muestran las gráficas y análisis de resultados promedios y desviación estándar.

3.1 Sólidos

Dentro de las pruebas de parámetro fisicoquímicas realizadas, se realizaron pruebas de sólidos, los cuales se refieren a las impurezas que se encuentran en el agua residual de forma suspendida y disuelta.

- Sólidos totales

Los sólidos totales incluyen toda la materia, excepto el agua contenida en la muestra. La determinación de los sólidos totales permitió estimar el contenido de la materia suspendida presente en el agua residual del filtro, así como también el porcentaje de materia orgánica e inorgánica representativa del efluente [6].

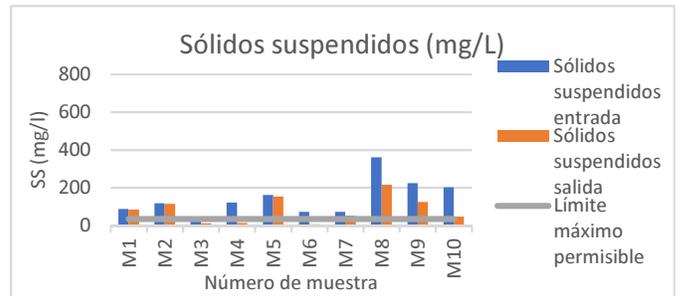


Gráfica 1. Resultados de sólidos totales de las muestras tomadas.

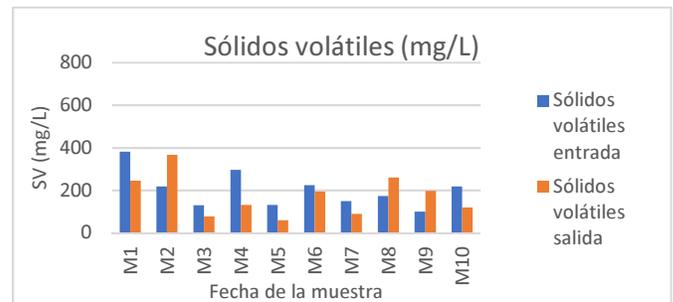
Los sólidos totales, según la gráfica 1, presentan valores promedio relativamente bajos a los característicos del agua residual, con 576 de valor promedio del afluente con una desviación estándar de 151.87 mg/L y 439mg/L del efluente con una desviación estándar de 131.57 mg/L.

- Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos están conformados por materia orgánica e inorgánica derivados de los sólidos totales, siendo aquellos que no sedimentan con facilidad y participan en el desarrollo de la turbidez y el color del agua.



Gráfica 2. Resultados de sólidos suspendidos de las muestras tomadas.



Gráfica 3. Resultados de los sólidos volátiles de las muestras tomadas.

Los resultados de sólidos suspendidos, según la gráfica 2, presentan valores promedio relativamente bajos a los característicos del agua residual, con 144.8 de valor promedio del afluente con una desviación estándar de 92.11 mg/L y 82.4 de valor promedio del efluente con una desviación estándar de 65.68 mg/L.

- Sólidos volátiles y fijos

Los sólidos volátiles y fijos se evaluaron ya que son un indicador del contenido orgánico de los residuos crudos y proporcionan una medida de la población microbiana activa en los procesos biológicos (WEF, 1992).

Los sólidos volátiles de las muestras tomadas, según la gráfica 3, muestran un valor promedio del afluente de 202.40 mg/L, con una desviación de entrada de 81.36 mg/L y 174.40 mg/L de promedio del efluente, con una desviación de estándar de 91.84 mg/L.



Gráfica 4. Resultados de los sólidos fijos de las muestras tomadas.

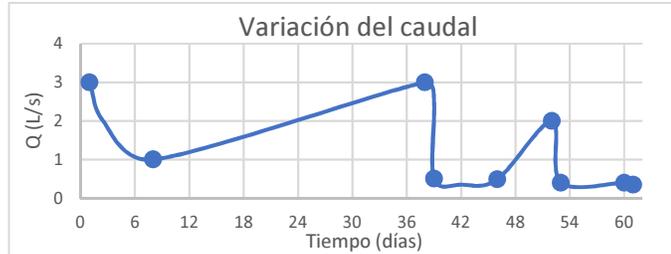
Los sólidos fijos de las muestras tomadas, según la gráfica 4, muestran un valor promedio del afluente de 385.8 mg/L con una desviación estándar de 166.22 mg/L y 264.8 mg/L de promedio en el efluente con una desviación estándar de 80.71. mg/L. Con los resultados obtenidos, en los sólidos totales existe un porcentaje de sólidos volátiles de 60.20% y un porcentaje de 39.79% de sólidos fijos.

3.2 Potencial de hidrógeno y temperatura

El potencial de hidrógeno y la temperatura, funcionaron como parámetros de control del funcionamiento actual del filtro biológico. El pH se encuentra en un rango entre 7.5 y 9.5, que se considera aceptable para la realización de los procesos biológicos necesarios, especialmente el crecimiento de las bacterias. La temperatura permaneció constante durante todo el tiempo de muestreo, cuyo valor promedio en la entrada del filtro nos arrojó un valor de 23.39°C y en la salida, un valor de 23.64°C, lo cual indica que se encuentra en una temperatura acorde para el desarrollo de la actividad microbiana.

3.3 Caudal del sistema

Los análisis de muestreo de los caudales se realizaron con el propósito de relacionar estos con los resultados de los parámetros evaluados durante el mes de agosto a noviembre. El promedio de caudal obtenido fue de 1.09 L/s.



Gráfica 5. Variación del caudal.

En la gráfica 5, los caudales menores representan los días que las muestras fueron tomadas en horas mínimas (8:00 a. m. – 9:30 a. m.) y los caudales mayores representan las horas pico (12:00 p. m. – 1:00 p. m.).

Tabla 3. Nomenclatura para la gráfica de variación de caudal

N. ° de muestreos	Fechas de muestreo	Caudal (L/s)
1	8/28/2017	2.56759
8	9/5/2017	0.51617
38	10/5/2017	3.11326
39	10/6/2017	0.51729
46	10/12/2017	0.48593
52	10/18/2017	2.23951
53	10/19/2017	0.37289
60	10/25/2017	0.37418
61	10/26/2017	0.34168

3.4 Carga orgánica e hidráulica

Según los parámetros de diseño este filtro fue construido para una carga hidráulica de 0.3 m³/m²/día, lo que indica que actualmente el mismo trabaja como filtro de baja tasa.

$$Carga\ hidráulica \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot día} \right) = 0.3419 \frac{m^3}{m^2 \cdot día} \quad (1)$$

$$Carga\ orgánica \left(\frac{kg\ DBO_5}{m^3 \cdot día} \right) = 0.1872 \frac{kg\ DBO_5}{m^3 \cdot día} \quad (2)$$

Con los resultados obtenidos de las cargas orgánica e hidráulica con los que actualmente trabaja el filtro biológico se comprobó que es de baja tasa, ya que trabaja con una carga orgánica menor a 0.4 kgDBO₅/m³/día (Metcalf & Eddy, 1997).

3.5 Desempeño o eficiencia del sistema. Resultados de DBO₅ y DQO

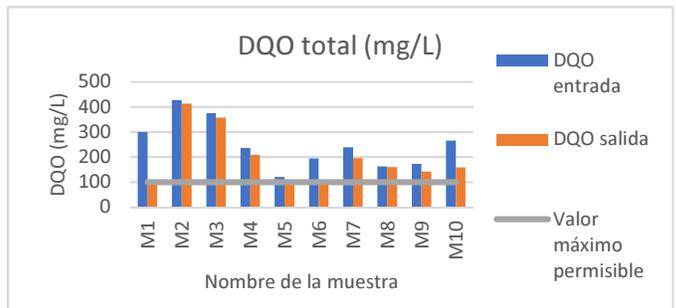
La remoción de los dos parámetros principales: DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno), indican la eficiencia del tratamiento empleado por medio de un filtro percolador.

Tabla 4. Resultado de DBO₅ total

DBO ₅ total		
Fecha	Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)
18/08/2017	219.00	84.40
28/08/2017	326.00	309.00
Promedio	272.50	196.70

En la tabla 4 se muestran los resultados de DBO₅ de los dos (2) muestreos realizadas a este parámetro. La DBO₅ promedio del afluente, según la tabla 3, fue de 272.50 mg/L con una desviación estándar de 23.91 mg/L y valor promedio del efluente de 196.70 mg/L con una desviación estándar de 50.21 mg/L.

La DQO promedio del efluente fue de 199.85 con una desviación estándar de 89.67 mg/L, según la gráfica 6.

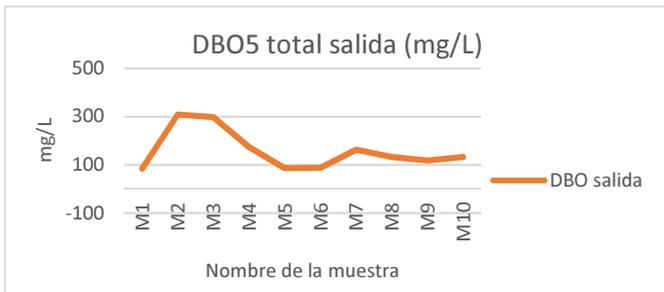


Gráfica 6. Resultado de DQO total.

3.6 Relación DBO₅/DQO (índice de biodegradabilidad)

La relación DBO₅/DQO se denomina índice de biodegradabilidad. Cuanto menor es este índice, mayor es la

fracción de componentes difícilmente biodegradable [7]. Se obtuvo una relación DBO_5/DQO de 0.75 en la entrada del sistema y de 0.83 en la salida del sistema, lo cual indica que hay una fracción de componentes fácilmente biodegradable [7]. Debido a que solo se obtuvieron dos mediciones de DBO_5 respecto a la cantidad de mediciones de DQO (diez en total), se estimó el comportamiento de la DBO_5 de los días faltantes a partir del promedio de la relación DBO_5/DQO del efluente de los dos muestreos realizados, los cuales se muestran en la gráfica 7.



Gráfica 7. DBO_5 estimada.

Con los resultados de la gráfica 7 se pudo determinar la DBO última del efluente por medio de los métodos: Thomas y logarítmico. La constante de desoxigenación (k) es indispensable en el análisis de DBO_5 para determinar su comportamiento en el tiempo, relacionándose con la tasa de descomposición de este parámetro. Se seleccionó el método que reportó el coeficiente de correlación más alto, ya que representa el mayor aporte de contaminación en el sistema del filtro, el cual fue de $R^2 = 0.9912$, por el método de Thomas con un valor de $k = 0.6683 \text{ d}^{-1}$ [8] y una DBO última de 337.38 mg/L.

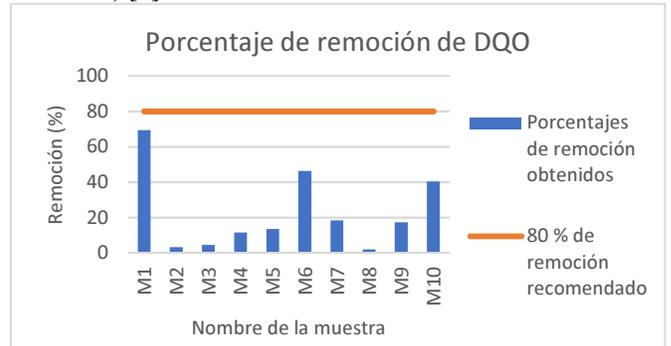
3.7 Eficiencia de remoción

En la gráfica 8 se determinan los valores de porcentaje de remoción de DQO del sistema, se obtuvo como valor promedio de eficiencia de remoción un 18.99%, siendo el valor más alto el de 68.58%, lo que indica que se encuentran por debajo del rango establecido de porcentaje de remoción de un filtro percolador (entre 70% y 80% de remoción) [9].

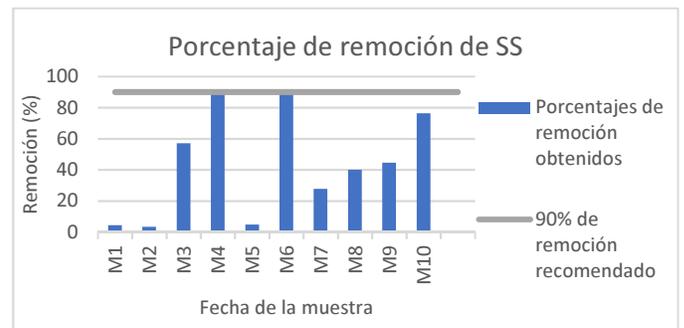
En la gráfica 9 se determinan los valores de porcentaje de eficiencia de remoción de sólidos suspendidos del sistema, el cual obtuvo como valor promedio de 43.89%, lo que indica que se encuentra por debajo del rango establecido de porcentaje de remoción de un filtro percolador (entre 80% y 90% de remoción) [9].

En la gráfica 10 se presentan los valores de porcentaje de eficiencia de remoción aproximados de DBO_5 del sistema, a partir de los datos estimados anteriormente. Se obtuvo un promedio de porcentaje de eficiencia de remoción de 16.95% siendo el mayor porcentaje de 61.46%. Los datos se encuentran

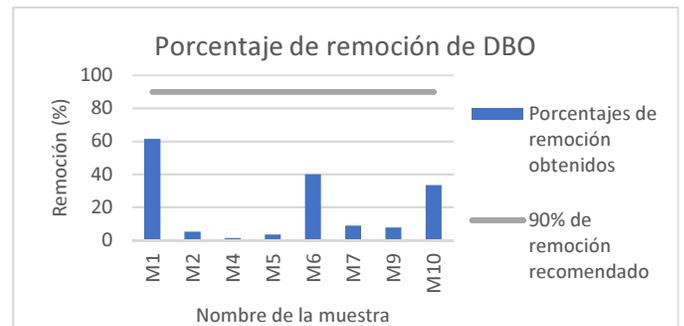
por debajo del rango establecido de porcentaje de remoción de un filtro percolador para este parámetro (entre 70% y 80% de remoción) [9].



Gráfica 8. Porcentaje de remoción de DQO .



Gráfica 9. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos.



Gráfica 10. Porcentaje de remoción de DBO .

3.8 Tasas de remoción (cinética de reacción)

Se determinó la tasa de remoción de los parámetros de DQO y sólidos suspendidos, los cuales se muestran en la tabla 5, estos valores se determinaron para un orden de reacción uno ($n = 1$).

El sistema presentó una tasa de remoción de DQO de 0.2134 mg/L/hora y una tasa de remoción de sólidos suspendidos de 0.5475 mg/L/hora. Valor que sobrepasa los recomendados para tratamientos biológicos por varios autores como CEPIS ($k=0.17$) o Salta ($k=0.13$) [10].

Tabla 5. Coeficientes de remoción del sistema

Parámetro	Coefficiente K de remoción (d ⁻¹)
DQO	0.1128
Sólidos suspendidos	0.0648

3.9 Resultados microbiológicos. Tinción de Gram

La prueba microbiológica en el afluente dio como resultados bacterias Gram Positivas, entre ellas identificadas: cocos y bacilos, y según su arreglo se evidenciaron: cocos, cocos en racimos y estreptobacilos; de las bacterias Gram negativas, se lograron apreciar cocos y bacilos, que según su arreglo fueron observadas cocos, bacilos, diplococos, estreptococos y estreptobacilos. En el efluente dio como resultado bacterias Gram Positivas: bacilos, y según su arreglo se evidenciaron: estreptobacilos; de las bacterias Gram negativas: bacilos, y según su arreglo se evidenciaron: estreptobacilos y diplobacilos. Esta prueba microbiológica fue realizada en el laboratorio a través de un microscopio con el objetivo de 10x, en donde se observó y determinaron los arreglos, la forma y las agrupaciones de las bacterias. En la figura 1, se muestra la vista de las bacterias Gram positivas (afluente) de color violeta y en la figura 2 bacterias Gram negativas (efluente) de color rojo. Para efectos de este análisis, es importante tener en cuenta que una característica general de los microorganismos anaerobios facultativos presentes en este sistema, es su tendencia a tornarse gramnegativos cuando se aplica la coloración de Gram, por la poca estabilidad frente a la decoloración lo que los convierte en Gram inestables [11].

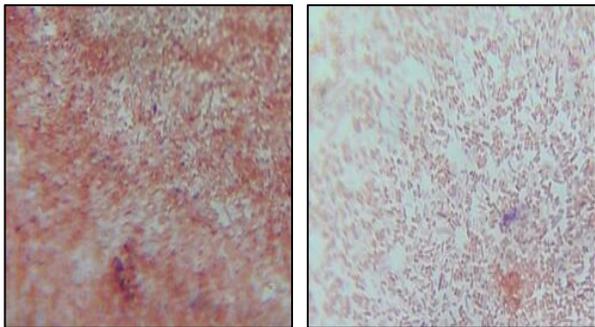
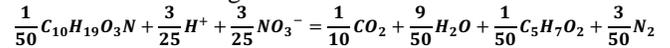


Figura 1 y 2. Tinción de bacterias, gram negativas y positivas en el afluente (1) y en el efluente (2), observado con el objetivo de 10x.

3.10 Reacción Intermedia del sistema

Las reacciones intermedias del filtro biológico demuestran la operación de este. En la zona inferior del filtro biológico de baja tasa proliferan bacterias nitrificantes autótrofas que oxidan el nitrógeno amoniacal para transformarlo en nitritos y nitratos. Por lo cual, para la formulación de la reacción estequiométrica del sistema se determinó el amoníaco como fuente de nitrógeno (síntesis celular de bacterias) y el oxígeno

como aceptor de electrones. La ecuación estequiométrica para dicho sistema es la siguiente:



3.11 Hallazgos en el sistema actual del filtro biológico

Dentro del análisis de la eficiencia actual del filtro biológico o percolador se pueden mencionar algunas características sobresalientes a simple vista y algunas otras consultadas tales como:

- Falta de mantenimiento al filtro, desde su inicio de operación, el cual debía hacerse cada dos años, que incluía: limpiar los tubos de drenaje, así también el medio filtrante o cambiarlo dependiendo de su estado. (E. Guerra, comunicación personal, 14 de noviembre de 2017).
- Colapso de la pared de 6m de longitud del campo de percolación, específicamente en el área de la salida del filtro.
- Falta de limpieza del área donde se localiza el sistema, predominando la maleza en el área donde está la salida.
- Estancamiento en la salida del agua residual del filtro percolador debido a la falta de mantenimiento y limpieza.

4. Conclusiones

La evaluación efectuada a la calidad del agua, que pasa a través del filtro biológico para su tratamiento, nos permitió conocer el nivel de eficiencia del sistema de depuración según nuestros resultados. A pesar de las fallas, que en su mayoría se deben a la falta de mantenimiento durante toda su vida útil, remueve parte de los sólidos totales, presentando un valor promedio de 439 mg/L con respecto a los 500 mg/L presentados como límite en el Reglamento DGNTI-COPANIT 35-2000. De igual forma se tomaron en cuenta otros parámetros para evaluar la eficiencia del filtro biológico como sólidos suspendidos, que según las pruebas de campo deriva un valor promedio de 82.4 mg/L, DBO₅ con resultado promedio de 196.70 mg/L y DQO que presentó un valor de 199.85 mg/L con respecto a los valores presentados en el Reglamento DGNTI-COPANIT 35-2000 que son de 35 mg/l de sólidos suspendidos, 35 mg/l de DBO₅ y 100 mg/l de DQO. Considerando que el sistema de percolación corresponde a un filtro de baja tasa, tiene un porcentaje de eficiencia remoción de 16.95% según la DBO₅ en comparación con el rango de eficiencia de remoción recomendada para este parámetro que es de 80%-90%.

RECOMENDACIONES

- Contar con un tanque dosificador/clarificador justo después del tanque séptico, que permita que los materiales biológicos se sedimenten y se extraigan los fangos producidos en exceso [12].

- Realizar el mantenimiento periódico al sistema de percolación, en especial en la entrada y salida del filtro, para evitar la acumulación de sólidos que impidan el paso del agua a través del sistema y realizar monitoreos de la calidad del agua de manera frecuente.
- Prever la construcción de otro filtro percolador, con la finalidad de que el proceso de depuración continúe a través de un segundo filtro, mientras se realiza mantenimiento al primero.
- Se sugiere la operación en dos etapas: el filtro percolador seguido por una planta de lodos activados (disminuye la concentración de DBO hasta el 90% aproximadamente), con el objetivo de crear condiciones óptimas para la descomposición aerobia de la materia orgánica de las aguas del efluente del filtro.
- Para lograr obtener nuevamente los parámetros de diseño de carga orgánica e hidráulica se recomienda una recirculación del efluente, esto consigue modificar los parámetros fisicoquímicos del filtro, como: modificar la temperatura entre el medio y el agua, conseguir un determinado grosor de la biopelícula en el material filtrante, entre otros [9].

y semiquímicos, [en línea]. Revista Científica Tecnológica, volumen no. 13, junio 2010.

- [8] SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. Calidad del Agua: Evaluación y Diagnóstico. 1ra edición, 2011. Medellín, Colombia. Pág: 281 – 284.
- [9] ORTEGA, Enrique et al. Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, junio de 1010.
- [10] Liberal, Viviana; Cuevas, Carlos; Trupiano, Anibal; Bouhid, Eduardo. Determinación De Constantes Cinéticas En Lagunas De Estabilización De Salta. 2013. Consejo de Investigadores, Universidad de Salta, Buenos Aires, Argentina
- [11] Disponible en:
<http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteriasAnaerobias.pdf>
- [12] LESIKAR y Enciso. *Filtro percolador*, [en línea]. Texas A&M Agrilife Extension. 2002.

REFERENCIAS

- [1] Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA). Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas, Monográficos Agua en Centroamérica. Alianza por el agua. 2008.
- [2] Ministerio de Comercio e Industrias (Panamá). Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2000: Agua. Descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masas de agua superficiales y subterráneas. 10 de agosto del 2000. 17 p.
- [3] Diseño de Alcantarillado Sanitario en la Universidad Tecnológica de Panamá. Primera Etapa del Campus de la Universidad Tecnológica de Panamá. Infraestructuras. Escalas indicadas. Provincia de Panamá, Panamá. Octubre de 1993. Consultado: 9 de junio de 2017.
- [4] Campo de percolación. Universidad Tecnológica de Panamá. Primera Etapa del Campus de la Universidad Tecnológica de Panamá. Infraestructuras. Escalas indicadas. Provincia de Panamá, Panamá. Octubre de 1993. Consultado: 9 de junio de 2017.
- [5] DE LEÓN, Ricardo. Evaluación técnica y propuesta de mejora de filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la universidad Rafael Landívar. Trabajo de titulación (Ingeniero civil en el grado académico de licenciado). Guatemala de La Asunción. Universidad Rafael Landívar. Junio de 2017. 75 p.
- [6] R. S. Ramalho. Filtros Percoladores. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA). Universidad de Salamanca.
- [7] AREA, María et al. Tratamientos aplicables para la reducción de la DQO recalcitrante de efluentes de pulpados quimimecánicos