

# Diferencia entre la eficiencia de eliminación de materia orgánica de filtros biológicos a escala de laboratorio utilizando lechos convencionales versus empaques sintéticos

## Difference between the efficiency of the elimination of organic material from biological filters at laboratory scale using conventional milks versus synthetic packaging

Amador Cárdenas<sup>1</sup>; Julio Mancilla<sup>1</sup> & Viccelda Domínguez<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Ambiental – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Profesora de la Facultad de Ingeniería Civil – Campus Dr. Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Los medios de soporte fijo ofrecen una alternativa sostenible de método de tratamiento de aguas residuales para comunidades de interés social, debido a su muy buena eficiencia de degradación de materia orgánica (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días entre 75% a 90%), bajo costo, inversión inicial, como de operación y mantenimiento, así como su sencilla operación, desde el punto de vista técnico. La presente investigación tuvo como objetivo principal la evaluación de la diferencia entre la eficiencia en remoción de materia orgánica de un material sintético de polipropileno (2 HPP *Cooling Tower Fill* FKP 319/619) versus material convencional (rocas), en términos de DBO<sub>5</sub>, DQO y Sólidos Volátiles; como aporte para posteriores tratamientos de aguas residuales domésticas, especialmente de interés social. El período de prueba fue de 41 días en los cuales se midieron diariamente parámetros de control como pH, Temperatura, Sólidos Disueltos Totales, Salinidad y Conductividad, al igual que parámetros principales de interés para la investigación como DBO<sub>5</sub>, DQO y Sólidos Volátiles. Ambos filtros obtenían agua residual sintética de la misma fuente de entrada, lo cual permitió mantener un mejor control al medir la eficiencia de remoción. El período de arranque, en el cual se formaron las primeras capas de *biofilm*, duró aproximadamente 20 días. El módulo de material sintético fue rellenado de trozos del mismo módulo para aumentar el área y el tiempo de contacto. Al finalizar el período de pruebas, se pudo conocer que el material sintético de polipropileno fue más eficiente en remoción de materia orgánica en comparación con las rocas, presentando valores promedio de remoción, en términos de DBO<sub>5</sub> de 27.807% y 18.109%; y en términos de DQO de 17.053% y 10.725%, respectivamente.

**Palabras claves** Tratamiento de aguas residuales, filtros biológicos, módulo sintético, eficiencia de remoción, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno.

**Abstract** Trickling filter provide a sustainable alternative method of treatment of wastewater for communities of social interest, due to its excellent degradation of organic matter efficiency (Biochemical Oxygen Demand 5 days between 75% to 90%), low cost, initial investment, operation and maintenance as well as its simple operation, from the technical point of view. This investigation had as main objective the evaluation of the difference between the efficiency of removal of organic matter from a synthetic material polypropylene (2 HPP *Cooling Tower Fill* FKP 319/619) versus conventional material (rocks) in terms of BOD<sub>5</sub>, COD and volatile solids; as input for further treatment of domestic sewage, especially social interest. The trial period was 41 days in which control parameters such as pH, temperature, Total Dissolved Solids, Salinity and conductivity, as main parameters of interest for research as BOD<sub>5</sub>, COD and Volatile Solids were measured daily. Both filters obtained synthetic wastewater from the same source, which allowed maintain better control by measuring the removal efficiency. The starting period, in which the first layers of biofilm formed, lasted about 20 days. The module was filled plastic pieces of the same module to increase the area and contact time. At the end of the test period, it was known that synthetic polypropylene material was more efficient in removing organic matter in comparison with rocks, presenting average values of removal, in terms of BOD<sub>5</sub> of 27,807% and 18,109%; and in terms of COD of 17,053% and 10,725% respectively.

**Keywords** Wastewater treatment, trickling filters, synthetic module, removal efficiency, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand.

\* Corresponding author: viccelda.dominguez@utp.ac.pa

## 1. Introducción

En los últimos años se han desarrollado distintos tipos de tecnologías que ofrecen una gama de opciones en el tratamiento secundario. Existen tratamientos de tipo físico, químico y biológico. Por lo general, los tratamientos biológicos representan menores costos de explotación y mantenimiento, por lo que son altamente utilizados [1].

En este trabajo de investigación se escogieron los filtros percoladores como base del estudio.

Los lechos fijos se componen de rocas o, más recientemente, de piezas plásticas u otro material, sobre las cuales se realiza una aspersión de las aguas residuales, mediante un brazo rotatorio con orificios o boquillas, el cual es movido por un motor o por la misma acción dinámica del agua al golpear con la superficie del lecho.

Con el tiempo, se forma una biopelícula (*biofilm*), llamada también *zooglea*, sobre este material de soporte; esta biopelícula o lama biológica de microorganismos se encargará de tomar como alimento (adherir y descomponer), la materia orgánica biodegradable presente en las aguas del afluente.

En la medida en que avanza la operación del filtro, la biopelícula aumenta gradualmente su espesor sobre la superficie de las rocas o piezas plásticas.

Esto causa que la materia orgánica que se absorbe, sea empleada por los microorganismos de la parte más superficial “capa externa”, dejando a los de la parte interna con menos alimento y oxígeno.

En consecuencia, esta “capa interna” entra en fase de crecimiento endógeno provocando pérdida de adherencia al medio de soporte, hasta que termina por desprenderse. Todo lo anterior provoca un ciclo de auto limpieza en el filtro percolador que evitará su colmatación por engrosamiento de la biomasa adherida. Pueden funcionar con sistemas de alta o baja tasa [2-3].

Las aguas residuales que se dosifican a un filtro percolador deben recibir pre tratamiento, tal como el que se da en un tanque séptico.

Los sólidos y las grasas deben eliminarse antes de rociar las aguas negras sobre el filtro percolador. Si no se sacan estos materiales,

pueden cubrir la capa fina de microorganismos que crecen en el medio y matarlos.

Un buen sistema de filtro debe ser capaz de remover  $\text{DBO}_5$ , patógenos y coliformes fecales de las aguas residuales domésticas [4].

La razón para realizar la presente investigación es comparar la eficiencia de la remoción de  $\text{DBO}_5$  o  $\text{DQO}$  de los filtro percoladores a utilizar.

Se quiere recomendar como una alternativa a comunidades de interés social, debido a que es un tratamiento sencillo y barato.

## 2. Metodología

El estudio fue cuantitativo y cualitativo ya que se realizaron determinaciones en laboratorios de las características físicas, químicas y biológicas.

El enfoque cualitativo evalúa el desarrollo natural de los sucesos, utilizando la recolección de datos sin medición numérica para descubrir preguntas de investigación en el proceso de investigación, mientras que el enfoque cuantitativo fragmenta los datos en partes para responder al planteamiento del problema, donde los análisis se interpretan a la luz de las predicciones iniciales (hipótesis) y de estudios previos (teoría), donde la interpretación constituye una explicación de cómo los resultados encajan en el conocimiento existente [5].

Todas las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá.

### 2.1 Diseños de las plantas de tratamientos

El diseño de la Planta de Tratamiento a Escala Real fue realizado con base en la población para la cual está destinado el Proyecto SMART (proyecto de interés social) en donde la población de diseño es de 2400 habitantes.

La planta de tratamiento a escala de laboratorio fue diseñada a una proporción promedio de 1:12.5 de la planta real.

### 2.2 Construcción de los reactores

La planta a escala de laboratorio constó de tres reactores: un tanque de almacenamiento construido con pacas de acrílico de 1/8” y

dos cilindros de 1/8” y 40 cm de altura que funcionaron como filtros biológicos.

Los materiales de soporte utilizados fueron rocas basálticas y un módulo de polipropileno (2 HPP Cooling Tower Fill FKP 319/619).

### 2.3 Medición de parámetros

El período de pruebas duró 41 días en los que se monitorearon parámetros de control como pH, temperatura, sólidos disueltos totales, salinidad y conductividad, utilizando un medidor de pH y un multiparámetros; así como los parámetros principales para esta investigación: DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos volátiles, para los cuales se utilizaron equipos como nevera, reactor para DQO y mufla.

Estos parámetros fueron medidos a la entrada y a la salida de ambos filtros biológicos.

### 2.4 Medición de la eficiencia en remoción de materia orgánica

La medición de la eficiencia en remoción de materia orgánica se cuantificó, principalmente, en términos de DQO debido a que se comparó la eficiencia de cada material con estudios realizados por otros autores, y estos, presentaron sus resultados en eficiencia de remoción de DQO.

## 3. Análisis de resultados

### 3.1 Resultados de la entrada

#### 3.1.1 Relación DBO/DQO

Los valores de la relación entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO fueron superiores a 0.5 con un valor promedio de 0.79, lo que significa que la materia orgánica es altamente biodegradable.

Los valores de DQO y DBO<sub>5</sub> se comportan de manera paralela durante todo el período de prueba.

El día 6 de prueba, se presentó el valor más alto de DBO<sub>5</sub> y DQO debido a la fermentación presentada durante el inicio de las pruebas.

A partir del día 18 de prueba, el agua residual sintética preparada no presentó fermentación debido a que a partir del día 17, fecha en la que se preparó un agua residual sintética nueva, la misma empezó a airearse.

Esto se muestra en la gráfica de la figura 1,

en donde los valores de ambos parámetros van disminuyendo.

### 3.2 Resultados salida del material sintético

La relación DBO/DQO a la salida del sistema estuvo por encima 0.4, con un promedio de 0.68 lo que representa una alta biodegradabilidad de la materia orgánica.

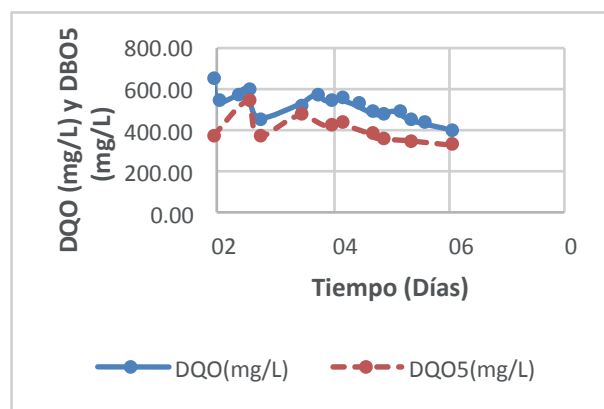


Figura 1. Gráfica 1: proporción de la DQO con respecto al DBO<sub>5</sub> en la entrada del sistema.

A partir del día 6, el comportamiento fue directamente proporcional entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO a la salida del material sintético, presentando valores que disminuyeron a lo largo del período de prueba, como se aprecia en la gráfica de la figura 2.

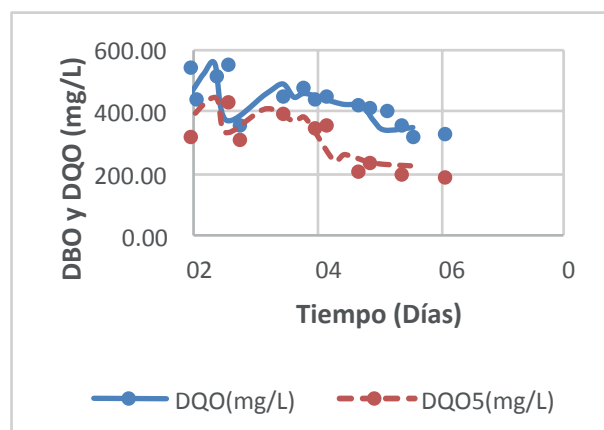
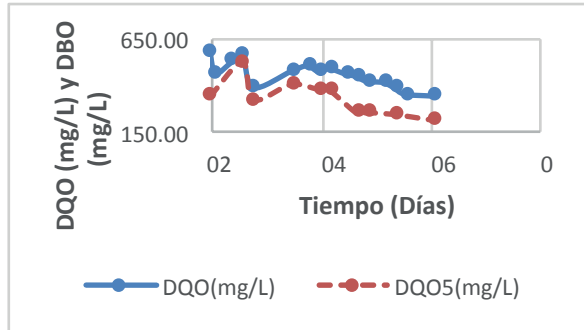


Figura 2. Gráfica 2: relación entre la DQO y la DBO en la salida del filtro con material sintético como lecho filtrante.

### 3.3 Resultados salida material convencional

El comportamiento entre la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Biológica de Oxígeno es directamente proporcional durante todo el período.

Entre los días 6 y 8 de muestreo, la gráfica de la figura 3 muestra que se llegó a tener una relación de biodegradación igual a 1, lo que indica una biodegradabilidad total en este período.



**Figura 3.** Gráfica 3 relación de la DQO y la DBO<sub>5</sub> en la salida del filtro con rocas como lecho filtrante.

### 3.4 Eficiencia en remoción de DBO

La eficiencia promedio en remoción de DBO<sub>5</sub> para los filtros de material sintético y rocas, son de 27.8% y 18.1%, respectivamente.

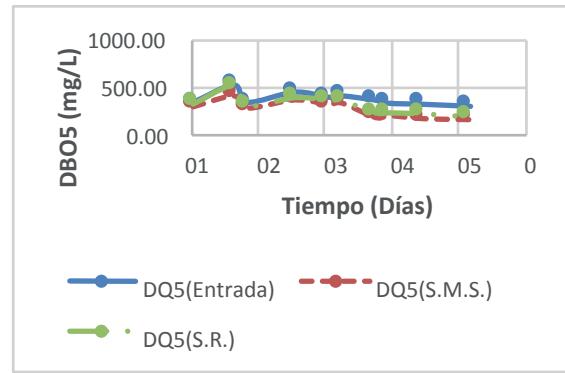
La diferencia entre ambos sistemas es de 9.7%, convirtiendo al sistema con material sintético en el más eficiente en remoción de DBO<sub>5</sub>. La desviación estándar de la roca es de 12.80 mientras que la del material sintético es de 14.98.

### 3.5 Eficiencia en remoción de DQO

La eficiencia promedio en remoción de DQO para los filtros de material sintético y rocas, son de 17.1% y 10.7%, respectivamente. La diferencia entre ambos sistemas es de 6.3%, convirtiendo al sistema con material sintético en el más eficiente en remoción de DQO. La desviación estándar de la roca es de 2.954 mientras que la del material sintético es 4.157.

### 3.6 Comparación general

La relación entre los datos de DBO<sub>5</sub> de la entrada y salidas de ambos sistemas, se presenta en la gráfica 4 de la figura 4.



**Figura 4.** Gráfica 4: comparación entre los valores de DBO<sub>5</sub> de la entrada y ambas salidas de los sistemas.

Desde el día 0, el material sintético se mostró más eficiente que el filtro hecho con rocas.

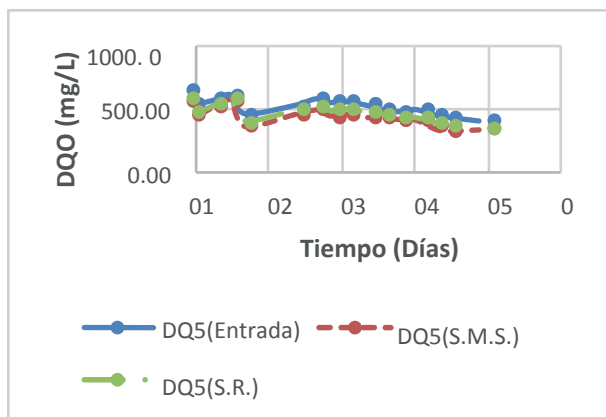
Esto se debe a que, desde antes de iniciar las pruebas definitivas de laboratorio, ya el sistema había sido probado en períodos interrumpidos y, se presume que para el día 0, tanto el material sintético como las rocas, contaban con *biofilm* formado.

Los valores de DBO<sub>5</sub> registraron sus concentraciones más altas al quinto día de prueba debido a la fermentación. A partir del día 22 la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> entre la entrada y ambas salidas incrementó, llegando a registrar valores de 47.37% en el material sintético y 34.21% en las rocas.

La comparación de DQO entre la entrada y las salidas del sistema presentó el mismo comportamiento que en la DBO<sub>5</sub>: las mayores concentraciones se presentaron en el día 6 de pruebas. La eficiencia de remoción promedio de DQO en el material sintético alcanzó valores 26.48% y 18.44% en las rocas. Estos valores se registraron en los últimos días de prueba, como se muestra en la gráfica de la figura 5.

## 4. Evaluación económica

A la hora de construir un sistema de tratamiento de aguas residuales para comunidades de interés social, se deben tomar en cuenta varios factores como: aplicabilidad del proceso, características del agua residual, eficiencia de remoción, generación de residuos, aceptación por parte de la comunidad, vida útil, requerimientos de área, costo de inversión, operación y mantenimiento.



**Figura 5.** Gráfica 5: comparación entre los valores de DQO de la entrada y ambas salidas de los sistemas.

En la actualidad se debe hacer énfasis en los costos de operación y mantenimiento, si se toma en cuenta la frecuente escasez de recursos económicos que enfrentan los organismos operadores de sistemas de agua y saneamiento en la región Latinoamericana.

Con frecuencia, los recortes en presupuestos se dan en estos aspectos, particularmente en el caso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Debe ser incluso un criterio de decisión más importante que el costo de la inversión inicial, ya que en el corto plazo un sistema de operación costosa, por arriba de la capacidad de pago del usuario, será abandonado [6].

El sistema de filtros percoladores presenta la ventaja de tener unos costos iniciales y de operatividad bajos. Son de bajo consumo energético y no requieren de grandes cantidades de reactivos químicos.

En el caso de los filtros sintéticos el costo inicial es un poco más elevado, ya que los materiales con los que se hacen son más costosos, pero representan una mayor ventaja a largo plazo, por su efectividad y largo período de vida [7].

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Las aguas residuales domésticas son una de las mayores fuentes de contaminación de los cuerpos de agua. La DBO se define como la cantidad de oxígeno que los microorganismos, consumen

durante la degradación de materia orgánica.

Es uno de los parámetros más importantes a la hora de determinar la calidad de las aguas. Entre mayor cantidad de materia orgánica más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla.

Existen distintas alternativas a la hora del tratamiento de aguas residuales domésticas, entre los que se encuentran, lodos activados y filtros percoladores. Los sistemas biológicos son altamente efectivos para el tratamiento de aguas residuales domésticas, representan un bajo consumo energético y puede ajustarse a los parámetros exigidos por las normas panameñas.

En comunidades de interés social es recomendable usar alternativas económicas y sostenibles, que puedan ser operadas por los habitantes. Un sistema de filtro percolador no exige personal altamente capacitado para ser manejado.

Para realizar la experiencia se realizó un modelo de laboratorio que se basó en un modelo real para comunidades de interés social, siguiendo las recomendaciones del IDAAN.

El modelo fue ajustado de acorde a las medidas de los materiales del fabricante. Cabe destacar que el tiempo de retención en ambos sistemas (convencional y material sintético), en este estudio resultó bajo por las condiciones de trabajo, por lo que presentó una baja eficiencia, que podría ser mucho mayor en caso de tener más contacto.

A lo largo de los 41 días de experimentación se pudo observar que el material sintético obtuvo una eficiencia de remoción de 27.807% de DBO y 17.053% de DQO, mientras el material convencional fue de 18.109% en DBO y 10.725% en DQO.

La experiencia realizada en este trabajo ha ayudado a probar que el material sintético (polipropileno) es más funcional para el tratamiento secundario de aguas residuales de origen doméstico, aunque la inversión inicial sea mayor que la del material convencional, a lo largo representa una ventaja para la comunidad donde sea instalada.

Se recomienda realizar este tipo de investigación usando otros tipos de materiales, y



realizar las pruebas con mayor tiempo de contacto y mayor período de pruebas.

## **Agradecimientos**

Se agradece a los profesores José Luis Chávez y Noriel Franco por ser co-asesores y brindar su colaboración y tiempo cuando fue necesario.

Aparte se agradece a la Facultad de Ingeniería Civil, por prestar las facilidades del Laboratorio de Sanitaria, al profesor Cenobio Cárdenas por ofrecer su ayuda con el mismo, y a ProDesarrollo S.A., por el patrocinio del material sintético utilizado en esta investigación.

## **REFERENCIAS**

- [1] Rodríguez, J., & Cárdenas, C. (2012). Influencia de las Fracciones de Materia Orgánica sobre el Desempeño de un Sistema de Tratamiento de Agua Residual de una Industria Papelera. U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica.
- [2] Lozano, W. (2012). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales Bogotá, Colombia.
- [3] Metcalf, & Eddy. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. McGraw-Hill.
- [4] Lara Villacís, L. E. (2011). Las Aguas Residuales del Camal Municipal del Cantón Baños y su Incidencia en la Contaminación del Río Pastaza en la Provincia de Tungurahua. Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- [5] Sampieri Hernández, R., Collado Fernández, C., & Lucio Baptista, P. (2003). Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill Interamericana.
- [6] Ramalho, R. S., Jiménez Beltrán, D., & de Lora, F. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona: Reverte.
- [7] Olivares, R. (2012). Filtros Biológicos y Percoladores. Sevilla.