

Evaluación de un filtro biológico de flujo ascendente anóxico a escala de laboratorio para remoción de nitrato

Evaluation of an anoxic ascending flow biological filter to laboratory scale for nitrate removal

Lissett Barría¹, Carl Chávez¹, Denisse Morales¹, Yosimar Robinson¹, Arantza Rodríguez¹, Marissa Samudio¹ & Erick Vallester^{2*}

¹Licenciatura en Ingeniería Ambiental – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá,

²Departamento de Hidráulica – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen El filtro biológico fue diseñado para trabajar en un ambiente anóxico en donde la masa bacteriana procedente de la materia orgánica dentro del filtro, descompone el nitrato para obtener el nitrógeno y la energía requerida para su desarrollo. Los químicos usados fueron: la fuente de nitrato (140 mg/L de nitrato de potasio), control de oxígeno (250 ml de bisulfato de sodio) y control del potencial de hidrógeno (150 mL de difosfato de potasio). El agua mediante un flujo ascendente alimenta a tres filtros con un volumen de 8 litros c/u, en donde el primer filtro contiene un promedio de 450 tusas de maíz de la especie A, el segundo filtro contiene aproximadamente 600 tusas de maíz de la especie B y el tercer filtro contiene tusas trituradas proveniente de la especie A, las tusas actúan como donantes de electrones y fuente de carbono orgánico para los microorganismos anóxicos. La Evaluación del Sistema consiste en determinar la eficiencia de remoción a través de los parámetros de DQO, DBO, sólidos totales, sólidos volátiles y fijos, sólidos suspendidos y disueltos, temperatura, pH, turbiedad, oxígeno disuelto, análisis microbiológico (tinción de Gram, Coliformes totales y fecales, observación microscópica), nitrato, conductividad y aforos.

Palabras claves Anóxico, filtro biológico, nitrato, remoción, tusas de maíz.

Abstract The biological filter was designed to work in an anoxic environment where the bacterial mass coming from the organic matter inside the filter decomposes the nitrate to obtain the nitrogen and the energy required for its development. The chemicals used were: The source of nitrate (140 mg/L of potassium nitrate), oxygen control (50 ml of sodium bisulfate) and control of the hydrogen potential (150 ml of potassium diphosphate). The water through an upward flow feeds three filters with a volume of 8 liters each, where the first filter contains an average of 450 corn fritters specie A the second filter contains approximately 600 corn fritters specie B and the third filter contains corn fritters crushed specie A, the corn fritters act as donors of electrons and source of organic carbon for anoxic microorganisms. The evaluation of the system consists in determining the removal efficiency through the parameters of COD, BOD, total solids, volatile and fixed solids, suspended and dissolved solids, temperature, pH, turbidity, dissolved oxygen, microbiological analysis (Gram staining, total and fecal coliforms, microscopic observation), nitrate, conductivity and amphoraes.

Keywords Anoxic, biological filter, nitrate, removal, corncobs.

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

1. Introducción

La presencia natural de los nitratos en las aguas superficiales es consecuencia del ciclo natural del nitrógeno, sin embargo, su producción por fuentes antropogénicas es la responsable del importante aumento en su concentración observada en los últimos años. Así, los residuos industriales constituyen una fuente importante de nitratos en las aguas, siendo las industrias más contaminantes los mataderos, destilerías, azucareras, industrias de levadura, de almidón, textiles y fertilizantes. Sin embargo, lo más preocupante es la contaminación por nitratos provenientes de la agricultura y ganadería intensiva. Las zonas en donde estas se practican, utilizan enormes cantidades de compuestos nitrogenados que en proporciones adecuadas mejoran el crecimiento de las plantaciones y aumenta su rendimiento.

No obstante estas cantidades son demasiado altas para ser absorbidos por las plantas y al alcanzar las aguas estas pueden ser contaminadas. Los efectos nocivos de los nitratos sobre la salud humana se dan especialmente en personas con problemas gástricos o en niños menores de tres meses.

El nitrato puede reducirse a nitrito, el cual se absorbe en los glóbulos rojos de la sangre, oxidando el hierro de la hemoglobina, disminuyendo la capacidad de los glóbulos rojos para transportar oxígeno, asimismo algunos tipos de cáncer del tracto gastrointestinal ha sido atribuido a la acción de este compuesto [1].

En la actualidad existen varias técnicas para la eliminación de los nitratos en las aguas, entre esos se encuentran las técnicas de transformación.

Estas técnicas pretenden transformar los nitratos en otros compuestos inocuos por medio de vías biológicas.

Dentro de esta línea de interés, se desarrolla el presente proyecto de filtro como asignación en la materia tratamiento de aguas residuales. El objetivo principal, es verificar la eficiencia de remoción de nitrato mediante la utilización de un filtro biológico anóxico compuesto por tusas de maíz.

La evaluación del sistema comenzó el día miércoles 24 de agosto de 2016 y terminó el miércoles 26 de octubre de 2016 (9 semanas en total).

2. Metodología

En esta sección se muestran los procedimientos y materiales necesarios en la evaluación del sistema.

2.1 Procedimiento

Como primer paso se recolectaron muestras en las salidas de cada filtro los días martes, miércoles y viernes, días en que el laboratorio se encontraba a nuestra disponibilidad.

Las pruebas para la evaluación fueron realizadas de la manera como se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Pruebas de evaluación realizadas y períodos de recolección

| Pruebas | Período de recolección |
|-------------------------------------|---|
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | Se realizó los tres días desde la semana 1 hasta la semana 9. |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) | Se realizó los viernes de las últimas cuatro semanas. |
| Sólidos | Realizados los martes desde la semana 1 hasta la semana 9. |
| La observación de microorganismos | Fue realizada los martes desde la semana 1 hasta la semana 9. |
| Conductividad | Era monitoreada a cada segundo a través de un equipo instalado en la salida de cada filtro. |
| La remoción de nitrato. pH y OD | Sus lecturas se daban los tres días a la semana desde la primera hasta la novena. |

2.2 Materiales

Los equipos y reactivos necesarios para la evaluación fueron proporcionados por parte del laboratorio de sanitaria de la universidad.

3. Resultados y análisis

En esta sección se mostrarán de manera resumida los resultados obtenidos y sus respectivos análisis.

3.1 Análisis microbiológico

A continuación, se muestran los microorganismos observados a lo largo de las nueve semanas de evaluación:

La conversión del nitrógeno, en forma de nitratos, a formas más rápidamente eliminables se puede llevar a cabo gracias a diversos géneros de microorganismos.

En este sistema se pudieron observar diversos tipos de microorganismo, que se encuentran en aguas ricas en nitrato, así como la *Pinnularia pinnulariaceae* y la *Anacystis microcystacea* (tipos de algas). Ver figura 1.



Figura 1. *Pinnularia pinnulariaceae* y *Anacystis microcystacea* observada en el filtro 1.

En abundancia se observaron nemátodos como se presentan en la figura 2.



Figura 2. Nematodos presentes en el Filtro 1.

La presencia de nemátodos, afecta al sistema ya que se alimentan de los microorganismos que se encuentran en el mismo contribuyendo a su multiplicación, pero son capaces de metabolizar sustancias orgánicas complejas.

Se encontraron muestras de *Pythium pythiaceae*. Estos hongos crecen en las tusas de maíz, pueden degradarla de manera acelerada [2]. Ver figura 3.



Figura 3. Nemátodo y *Pythium pythiaceae* observado en el Filtro 3.

3.2 Análisis de sólidos

A continuación, se muestran de manera gráfica y resumida los resultados de sólidos obtenidos de cada filtro a lo largo de las nueve semanas:

3.2.1 Sólidos totales

La determinación de este parámetro mide específicamente el total de residuos que pueden afectar adversamente la calidad del efluente de varias formas [3].

Se observa que para el Filtro 1 los sólidos totales van en aumento desde la semana 1 hasta la semana 4, mientras que en las últimas semanas se presentan valores estables dentro de un rango de 350 a 600 mg/L.

El Filtro 2 refleja valores de la primera a la séptima semana de 300 a 550 mg/L y muestra un valor extremo de 750 mg/L en la novena semana. El Filtro 3 presenta valores en el rango de 250- 500 mg/L durante todas las semanas de pruebas. Ver figura 4.

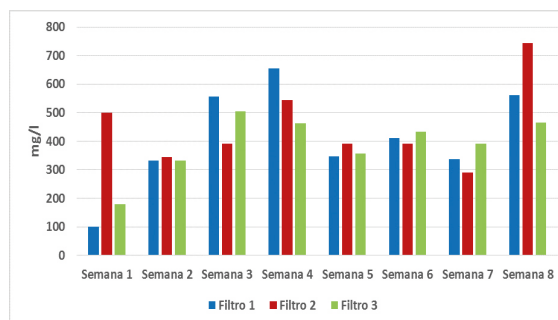


Figura 4. Comportamiento de sólidos totales en los tres filtros.

3.2.2 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos del Filtro 1 van en aumento durante las semanas de muestreo, al igual el Filtro 2 muestra un comportamiento creciente durante la mayoría de las semanas.

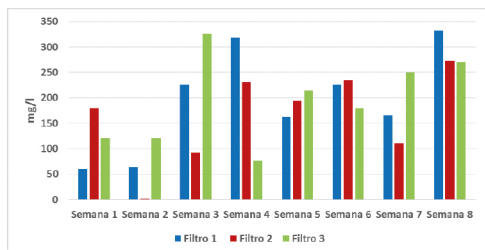


Figura 5. Comportamiento de sólidos suspendidos totales en los tres filtros.

3.2.3 Sólidos disueltos totales

Durante las 9 semanas los sólidos disueltos se mantuvieron de manera constante y marcaron una amplia tendencia.

El Filtro 1 mostró un ascenso durante las semanas 3 a la 5, y luego los sólidos se mantuvieron en un valor 370 mg/L durante las siguientes semanas.

El Filtro 2 presentó un valor promedio de 377 mg/L de la semana 3 a la 8, con excepción de la semana 9 que presentó un valor de 692 mg/L.

El Filtro 3 reflejó valores constantes durante las semanas de muestreo dentro del rango de 262 a 454 mg/L. Ver figura 6.

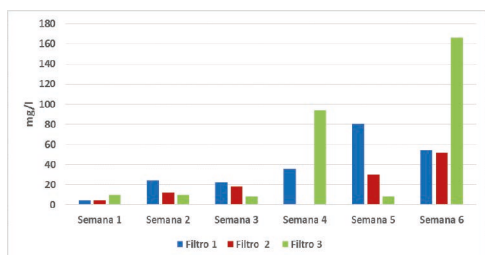


Figura 6. Comportamiento de sólidos disueltos totales en los tres filtros.

3.2.4 Análisis de conductividad

A continuación, se muestran de manera gráfica y resumida los resultados de conductividad obtenidos en las nueve semanas.

En el gráfico de la figura 7, se aprecia como en el Filtro 1 se presentan los picos más altos de

conductividad promedio y refleja los cambios más abruptos.

Por otro lado los picos más bajos fueron reflejados en el Filtro 2 en donde los cambios en la conductividad semanal fueron los menos pronunciados que en el Filtro 1. Este comportamiento en la conductividad en el Filtro 2, fue similar al observado en el Filtro 3, que en su caso sus picos máximo y mínimos nunca superaron los niveles límites observados.

Además se observa que el comportamiento de la conductividad es paralelo al comportamiento de los SD.

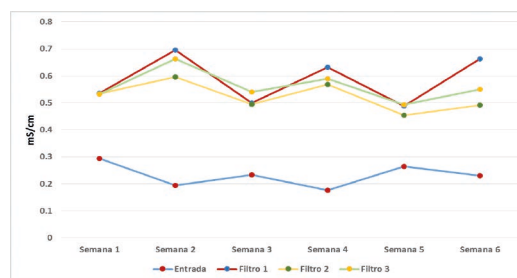


Figura 7. Niveles promedio de conductividad por semana.

3.2.5 Sólidos volátiles

Para el Filtro 1 se presenta un comportamiento variable que oscila entre los 60 a los 332 mg/L durante las semanas de pruebas. El valor más alto se dio durante la semana 8.

El Filtro 2 refleja un comportamiento variable en un rango de 92 a 272 mg/L, teniendo el valor más alto para la semana 8 de 272 mg/L.

El Filtro 3 se muestra en un rango de 76 a 326 mg/L, y su valor más alto fue durante la semana 3. Ver figura 8.

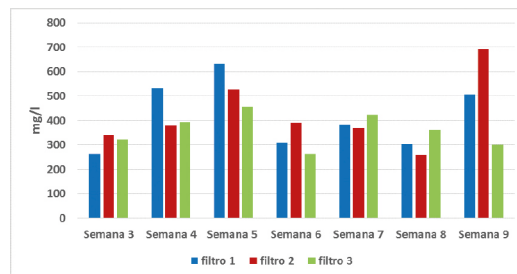


Figura 8. Comportamiento de sólidos volátiles en los tres filtros.

3.3 Análisis de DQO

A continuación, se muestran de manera gráfica los resultados de Demanda Química de Oxígeno obtenidos de cada filtro a lo largo de las 9 semanas:

Durante las 9 semanas los filtros presentaron un comportamiento estable, en donde el Filtro 3 presenta un rango mayor en comparación a los demás entre 112 y 274, valores calificados en rango de agua contaminada.

El Filtro 2 se encuentra en un rango entre 20 y 80 mg/l y el Filtro 1 mantuvo su comportamiento dentro del rango de 25 y 60 mg/L, ambos se presentan en un rango óptimo [3].

3.4 Análisis de DBO

Los valores de DBO5 fueron analizados en gráficas en la que se presentaron aquellos datos con el mayor porcentaje de consumo y en especial aquellos que entraban dentro del rango de 35-65% del consumo de oxígeno disuelto.

A continuación, se muestran de manera gráfica y resumida los resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno obtenidos en la sexta, séptima y octava semana de evaluación [1]. Ver figura 9.

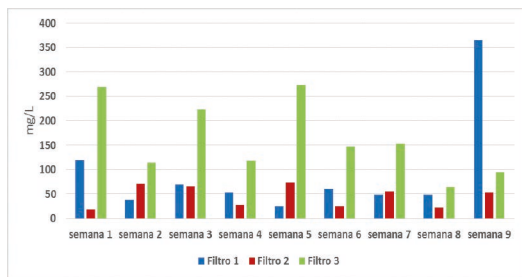


Figura 9. Comportamiento de DQO en los tres filtros.

Entre los filtros, el que presenta una DBO5 mayor es el Filtro 3 con un promedio de 62 mg/L, el siguiente filtro es número 1 que tiene una de DBO5 promedio de 42.33 mg/L y por último tenemos al filtro 2 con un promedio de 19.1 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno.

3.5 Análisis de DQO/DBO

A continuación, se muestran de manera tabulada los resultados de la relación entre la

Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Bioquímica de Oxígeno obtenidos en la sexta, séptima y octava semana de evaluación. A esta relación se le conoce como índice de biodegradabilidad, ya que este parámetro nos ayuda a decidir si el método o el tratamiento es el adecuado según el objetivo que se requiere; al observar los resultados tabulados, todos los datos son menores a 1.14 lo que indica que la materia orgánica es muy degradable [3].

Con lo anterior se da a entender que las tusas de maíz que se encuentran dentro de los filtros son una buena fuente de energía y donante de electrones para que los microorganismos realicen la degradación del nitrato a nitrógeno y oxígeno. Los datos se presentan en la tabla 1.

3.6 Constantes de degradación

A continuación, se muestran las constantes de degradación para nitrato, DBO y DQO para los tres filtros, cuyos resultados se presentan en la tabla 2.

3.7 Parámetros de control

A continuación, se muestran de manera gráfica, en las siguientes figuras, los resultados de potencial de hidrógeno y oxígeno disuelto.

Tabla 1. Relación de DQO/DBO de los tres filtros

| Semana 6 | | | |
|----------|------|-----|---------|
| Filtro | DQO | DBO | DQO/DBO |
| 1 | 53 | 72 | 1.35 |
| 2 | 30 | 39 | 1.3 |
| 3 | 96 | 65 | DBO>DQO |
| Semana 7 | | | |
| 1 | 32 | 37 | 1.15 |
| 2 | 15 | 21 | 1.4 |
| 3 | 41 | 53 | 1.29 |
| Semana 8 | | | |
| 1 | 42 | 221 | 5.26 |
| 2 | 12.3 | 20 | 1.62 |
| 3 | 49 | 55 | 1.12 |

Tabla 2. Constantes de degradación de DQO, DBO y Nitrato

| Constante de degradación (L/h) | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Parámetros | Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 |
| DQO | 0.169 | 0.101 | 0.083 |
| DBO | 0.283 | 0.0069 | 0.282 |
| Nitratos | 0.182 | 0.189 | 0.18 |

3.7.1 Análisis de potencial de hidrógeno

Inicialmente se registró un pH promedio neutro, 7.09 unidades de pH; sin embargo, después del paso por cada uno de los filtros se percibe una acidificación del agua. Ver figura 10.

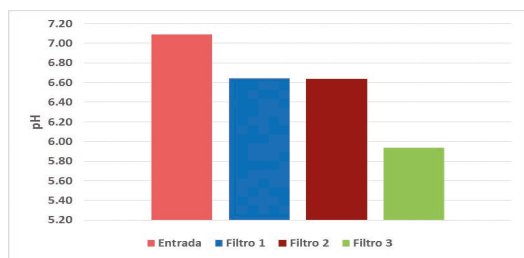


Figura 10. Niveles promedio de pH en ocho semanas.

3.7.2 Análisis de oxígeno disuelto

El sistema el oxígeno disuelto es regulado con una concentración de 250 mL de bisulfato de sodio en la entrada del sistema.

Se pudo observar que en términos generales se da una reoxigenación (aumento del oxígeno disuelto), siempre por encima de 45.0% con respecto a la concentración promedio obtenida en la entrada (4.00 mg/L). Ver figura 11.

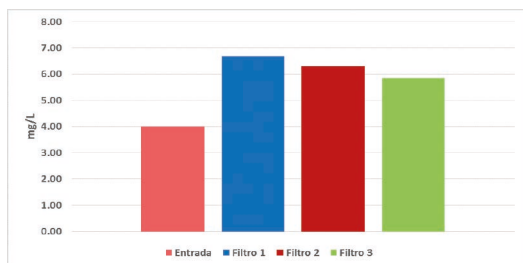


Figura 11. Niveles promedio de oxígeno disuelto en ocho semanas.

3.8 Análisis de remoción de nitrato

A continuación, se muestran de manera

gráfica en la figura 12, los resultados de remoción del nitrato obtenidos de cada filtro a lo largo de las nueve semanas:

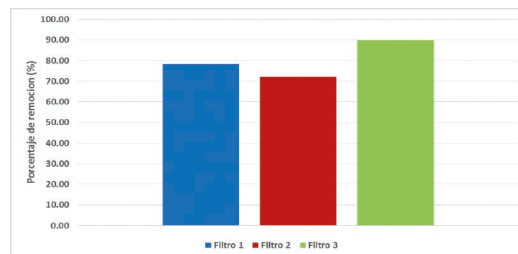


Figura 12. Eficiencia de remoción promedio de nitrato en cada filtro.

Se pudo observar que durante el período estudiado el Filtro 3 mantuvo la mayor eficiencia de remoción, seguido del Filtro 1 y por último el Filtro 2, reflejando todos los resultados por encima del 70%.

3.9 Tasa de remoción de nitrato

Las tasas de remoción de nitrato han sido evaluadas y estudiadas por numerosos investigadores, tanto a escala laboratorio como a escala real, encontrándose un amplio rango de tasas de remoción de nitrato [4].

El resultado obtenido se muestra en la siguiente gráfica de la figura 13.

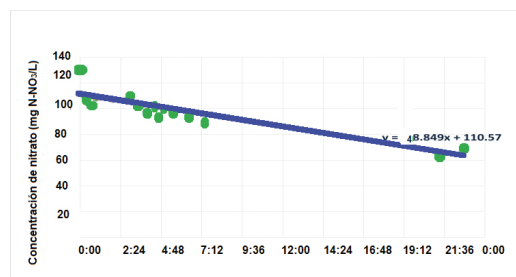


Figura 13. Tasa de remoción de nitrato.

Mediante la prueba de tasa de remoción de nitrato, se obtuvo como resultado la ecuación (1) correspondiente a la tasa de remoción de nitrato, como producto del uso de las tucas de maíz como fuente de carbono.

$$y = -48.849t + 110.57 \quad (1)$$

En donde:

y = tasa de remoción, %

t = tiempo, días

Aplicando la ecuación anterior, para un período de 13 horas, dio como resultado una tasa de 89.5

Dicha prueba se realizó para un volumen aproximado de un litro de tusas de maíz, y al ser ajustada para el volumen de 8 litros de tusas de maíz contenidos en los filtros en estudio obtenemos 10.5235 mg N-NO₃, concuerda con el comportamiento bajo condiciones óptimas de operación de los mismos.

4. Conclusiones

Al realizar esta evaluación, los problemas de estancamiento por las tusas en los filtros representaron variaciones en las medidas de las distintas pruebas que se realizaron; se llegaron a las siguientes conclusiones:

Sobre los sólidos, en cada una de las muestras se encontró un comportamiento variante, pero continuó indicando que la materia orgánica (tusa de maíz) se está utilizando como fuente de energía para los microorganismos donador de electrones.

Referente a la conductividad y la relación que posee con los sólidos se pudo apreciar que en el período de la semana 3 a la semana 6 los valores más bajos de conductividad se reflejaron en la semana 5, semana para la cual se observaron los valores más altos de STD.

Sobre la relación DQO/DBO, los valores al ser menores que 1.14 indican que la materia orgánica es muy degradable y óptima para proporcionar energía a los microorganismos para la remoción de nitrato.

Para los parámetros de control, el pH promedio de los tres filtros se encuentra en el intervalo óptimo para el proceso de desnitrificación (7 a 9). Para el oxígeno disuelto los valores promedios para los tres filtros no se encuentran dentro del rango requerido (menores de 1 ó 2) pero cabe resaltar que su presencia no ha afectado la remoción de nitrato.

En la remoción de nitrato, se puede observar que el filtro 3 posee la mayor eficiencia seguido

del filtro 1 y por último el filtro 2, reflejando todos los resultados promedio por encima del 70%. Resaltando que el sistema cumple con el objetivo para el que fue diseñado.

Con los resultados obtenidos se puede demostrar que el sistema es efectivo en la remoción de nitrato, obteniendo una mayor remoción en el filtro donde se encuentran las tusas de maíz trituradas.

Por otro lado, se obtienen valores altos de sólidos debido a la degradación de las tusas por parte de los microorganismos, es por esto que recomendamos para una mejor eficiencia en este aspecto, el filtro biológico de materia orgánica debe trabajar en conjunto con un filtro biológico de materia inerte, el cuál reducirá el contenido de material orgánica y así poder reutilizar el agua en actividades agrícolas, en lavado de infraestructuras, etc.

Agradecimientos

En primer lugar, le agradecemos a Dios por permitirnos contar con la sabiduría, paciencia, entendimiento y tiempo necesario para efectuar la evaluación.

Al Profesor Cenobio Cárdenas y Profesor José Luis Chávez, por su asistencia en el laboratorio y por los conocimientos transmitidos en esta vivencia.

Referencias

- [1] García Roché MO, García Melián M. y Cañas Perez R. (1994). *Nitratos, nitritos y compuestos de N-nitroso*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Metepec, Edo. De México, México.
- [2] APHA, AWWA, WPCF (2005). *Standard Methods for the examination of water and Wastewater*.
- [3] E.C.S Chan; Michel J. Pelczar; Noel Krieg (2005). *Laboratory Exercises in Microbiology. Sixth Edition McGraw-Hill*.
- [4] José Alberto Romero Rojas (2000). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [5] Carol Patricia Simon González (2016). *Estudio de Lixiviación de desechos agrícolas con tusas de maíz en reactores intermitentes*.