

Evaluación de un sistema biofiltro humedal de remoción de nitrato de material fijo inerte de flujo vertical ascendente a escala de laboratorio

Evaluation of a wet biofiltro system of nitrate removal of ineffectuated fixed material from vertical flow up to laboratory scale

Elisa Alemendas¹; Kambip Chiari¹; Miguel Hernández¹, Christel Herrera¹;

Edilberto Valdés¹ & Erick Vallester^{2*}

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

²Licenciatura en Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen Este artículo proporciona información acerca de la evaluación de un sistema biofiltro de un humedal artificial, de flujo vertical ascendente y material inerte, el cual tiene como objetivo remover los niveles de nitrato de un agua sintética en base nitrato de potasio, metanol, bisulfito de sodio (regular el oxígeno) y difosfato de potasio (regular el pH). Estos son sistemas pasivos de depuración en los que se imitan los procesos físicos, químicos y biológicos típicos de un humedal natural, en un espacio confinado. En la construcción del prototipo de laboratorio, se utilizó como reactor un cajón de acrílico, como medio de soporte un relleno de grava y arena (lecho filtrante), una especie de planta acuática *Typha angustifolia* (crecimiento de microorganismos formados en la película biológica de las raíces) y agua sintética. Además, se utilizó una lámpara simulando la función del sol (proporciona calor). Con el objetivo de conocer la eficiencia del sistema se realizaron mediciones de muestras de entrada y salida del sistema de parámetros como DBO, DQO, temperatura, salinidad, potencial de hidrógeno, ORP, nitrato, turbidez, caudal y análisis microbiológicos.

Palabras claves Agua residual, bacterias, filtro; humedal, remoción.

Abstract This article provides information on the evaluation of a biofilter system of an artificial vertical ascending flow and inert material wetland, which aims to eliminate the nitrate levels of a synthetic water based on potassium nitrate, methanol, bisulfite Of Sodium (oxygen regulator) and potassium diphosphate (PH regulator). These are passive systems of purification in which the physical, chemical and biological processes of a natural wetland are imitated in a confined space. In the laboratory construction, an acrylic drawer was used as a medium for a gravel and sand filling (filter bed), a kind of aquatic plant *Typha angustifolia* (upgrowing of microorganisms formed in the biological film of the Roots) and synthetic water. In addition, a lamp that simulates the function of the sun was used. In order to know the efficiency of the system, measurements were made of input and output samples of the system parameters such as BOD, COD, temperature, salinity, hydrogen potential, ORP, nitrate, turbidity, flow and microbiological analysis.

Keywords Wastewater, bacteria, filter, wetland, removal.

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

1. Introducción

A pesar del amplio conocimiento de los efectos de la contaminación sobre la salud humana y el medioambiente, producto de las severas condiciones económicas imperantes, la disposición final de las aguas residuales, en algunos casos, se realiza sin ningún tipo de tratamiento; en unos, debido al alto costo que implican las tecnologías convencionales y avanzadas, en otros, debido a la falta de conciencia en cuanto al peligro que esto representa para la naturaleza y, por tanto, para la humanidad.

Por ello, se hacen necesaria la búsqueda de técnicas de bajo coste de inversión y bajo consumo energético que solucionen de forma óptima este problema. [1]

Como alternativa a las costosas técnicas convencionales de tratamiento de aguas residuales, se han desarrollado una serie de sistemas basados en los mecanismos de depuración existentes en la naturaleza, denominados por esta causa sistemas de tratamiento naturales.

Estos sistemas requieren la misma cantidad de energía por cada kilogramo de contaminante degradado que las tecnologías convencionales, sin embargo, esta fuente es tomada de la naturaleza como energía solar, energía cinética del viento, la energía química acumulada en la biomasa y en el suelo, etc. [1].

En esta experiencia recrearemos un humedal como sistema de tratamiento secundario de aguas residuales, utilizando sus elementos básicos como los son; un reactor, un soporte fijo (lecho filtrante), como especie de planta se utilizó la *Typha angustifolia* y se creó un agua sintética a base de nitrato simulando el contaminante a remover. Todos estos no son más que ecosistemas en los que juegan un papel importante determinadas plantas y microorganismos, cuya acción biológica y eficiente simbiosis permiten la eliminación de las cantidades excesivas de nutrientes esenciales, materia orgánica, trazas de metales

pesados y agentes patógenos presentes en las aguas residuales.

2. Metodología y materiales

El proyecto surgió a raíz del curso de Tratamiento de Aguas Residuales, de la carrera de Ingeniería Ambiental. En el desarrollo del proyecto se utilizaron las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica y de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá.

2.1 Metodología

Para este proyecto se creó una solución de agua sintética mezclada en un depósito la cual, se bombeaba a otro depósito con mayor altura (función de dosificador continuo del agua sintética), luego por efecto de la gravedad, este líquido descende por la siguiente tubería, en este tramo se encuentra una válvula la cual regula el flujo, poco más adelante se utiliza un dosificador la cual está unido a la tubería con la función de agregarle al agua sintética una solución de bisulfito de sodio y difosfato de potasio, otra válvula que se encuentra más adelante se utiliza para tomar muestra (punto de muestreo de la entrada), luego el líquido llega hasta segmento de entrada del reactor de acrílico para formar parte del filtro.

El muestreo no es más que el procedimiento de escoger parte de un elemento, el cual debe ser representativo del mismo, para ser analizado. Para el proyecto se tomaron dos puntos de muestreos, uno para el afluente (muestra antes de entrar al sistema) y otro para el efluente (muestras de salida del sistema).

Los parámetros de medición con frecuencia de una vez por semana fueron: los correspondientes al análisis microbiológico y DBO₅.

Los parámetros de medición con frecuencia de dos veces por semana fueron: DQO, temperatura, salinidad, potencial de hidrógeno, ORP, nitrato, turbidez, sólidos y caudal

Se realizó también una prueba de granulometría. En los Cuadros a continuación se detallan los equipos y métodos utilizados en las diferentes experiencias.

Cuadro 1.

Equipos y métodos de análisis microbiológicos

Equipo y método de análisis	Parámetros medidos
Método - Tinción de Gram	Tinción, formas y arreglo
Método - Coliformes totales (Filtro de membrana)	Número de colonias
Equipo - Microscopio	Identificación de microorganismos

Cuadro 2.

Equipos y métodos de análisis físico-químicos

Equipo y método de análisis	Parámetros medidos
Método de Winkler (A través de oxígeno disuelto)	DBO5
Método - Digestión por dicromato de potasio	DQO
Equipo – Multiparámetro Pro DSS	Temperatura; salinidad; potencial de hidrógeno; ORP; Nitrato
Equipo – Espectrofotómetro DR/2010	Turbidez
Método volumétrico	Caudal

2.2 Materiales

Los humedales artificiales contienen, básicamente, agua, relleno sólido y plantas emergentes. Como prototipo de laboratorio, se utilizó un cajón de acrílico como reactor, como material de soporte un relleno de grava y arena (lecho filtrante), la especie de planta acuática utilizada fue la *Typha angustifolia*, y un agua sintética compuesta de una solución acuosa a base de nitrato de potasio. Adicional, se utilizó la luz de una lámpara simulando la función del sol (usado para proporcionar calor). Este sistema en su totalidad fue diseñado por la Lic. María Núñez.

2.2.1 El Reactor

El reactor utilizado es un cajón de acrílico que alberga el material del filtro y las plantas, este con un volumen de 0.29m³ como se muestra en la figura 1.

2.2.2 Material de soporte

El material de soporte que se utilizó como

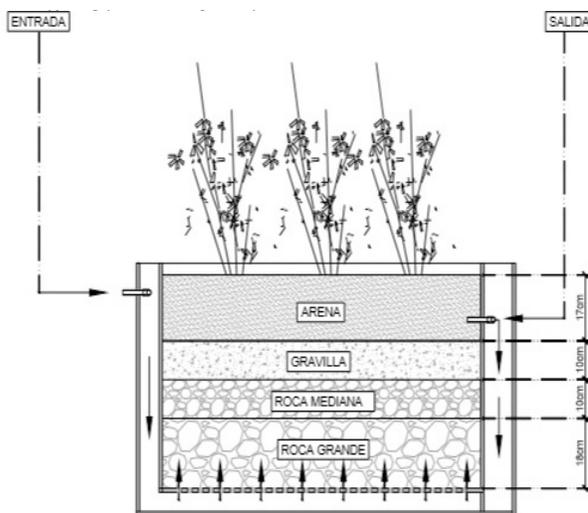


Figura 1. Esquema del sistema Biofiltro-Humedal.

medio filtrante fue de arena y grava, distribuido en varias capas dentro del sistema. La distribución de las capas fue de la siguiente manera:

- Capa de arena: 17 cm
- Capa de gravilla: 10 cm
- Capa de grava mediana: 10 cm
- Capa de grava grande: 18 cm

2.2.3 Planta (*Typha angustifolia*)

La *Typha angustifolia* es una hierba acuática, de hojas muy largas y lineales perteneciente a la familia *Typhaceae* conocida de forma común como anea o junco (ver figura 2).

Originaria de América del Norte y Central, puede llegar a alcanzar tres metros de altura.

Por su fácil desarrollo en soportes con textura arenosa y empapada, se eligió para el humedal. Esta se obtuvo en la Laguna de La Arenosa en La Chorrera.

2.2.4 Agua sintética

El agua sintética dentro del sistema fue creada a base de metanol y nitrato de potasio, a la cual se agregó bisulfito de sodio (con el fin de regular oxígeno a niveles bajos) y difosfato de potasio (con el fin de regular el pH).

Para llegar a una concentración de 60 mg/L de nitrato, se vertió en un tanque 900 mL de nitrato de potasio y 12.5 mL de metanol.



Figura 2. *Typha angustifolia* dentro del sistema.

3. Resultados

3.1 Microbiología

Parte importante del proceso de estudio del humedal, fue el de determinar los microorganismos que este presentaba, ya que ellos se encargan de realizar el tratamiento biológico.

Para ello se tomaron muestras de la película bacteriana formada en las raíces de la *Typha angustifolia*. También se observaron muestras de agua y raíz utilizando el microscopio.

3.1.1 Tinción de Gram

En los análisis de tinción de gran se encontraron como resultados bacterias Gram positivos y Gram negativos, de diferente morfología, como cocos, bacilos y según su arreglo, se encontraron diplocos, diplobacilos, estreptobacilos y estafilococos.

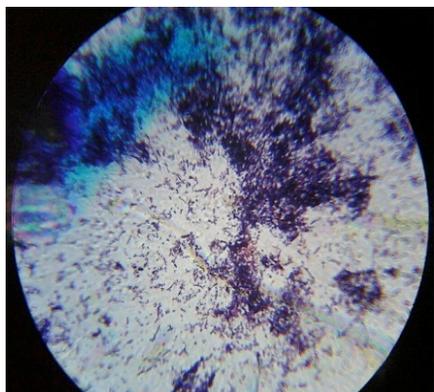


Figura 3. Fotografía de la prueba de tinción de Gram, resultados: Gram positivos, cocos en cadena.

3.1.2 Observación de microorganismos

En el transcurso del proyecto se observaron microorganismos de distintos puntos de muestreos, agua de la zona de entrada, película bacteriana de las raíces y agua de la zona de la salida.

En las observaciones se identificaron los siguientes microorganismos:

Bacterias: son protistas unicelulares. Tiene la función dentro del sistema de degradar la materia orgánica disuelta.

Rotíferos: son multicelulares, aeróbicos, heterotróficos, los cuales son muy eficiente consumiendo bacterias dispersas y floculadas, así como partículas pequeñas de material orgánico.

La presencia de rotíferos dentro del sistema, indica una alta eficiencia en el proceso aeróbico de purificación. [2] (ver figuras 4 y 5).

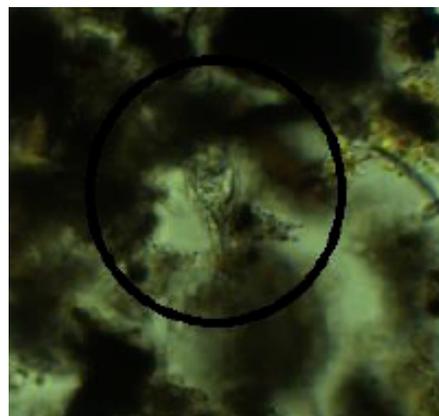


Figura 4. Fotografía de un *Proales smilis* (rotífero) presente en el humedal.



Figura 5. Fotografía de un *Euchianis* (rotífero) en el humedal.

30

Algunas de las características de estos rotíferos son: el *Proales similis*, es un microorganismo acuático, fundamental en la cadena trófica alimentaria de estos ecosistemas y la *Euchlanis* es un microorganismo indicador de aguas poca contaminada, son muy útiles para metabolizar alimentos sólidos [3].

Protozoos: son protistas microscópicos que por lo regular son unicelulares y que además poseen movilidad. La mayoría de los protozoarios son aeróbicos heterotróficos, aunque algunos de ellos son anaeróbicos.

Son capaces de eliminar las bacterias suspendidas en el agua evitando la turbidez, lo cual es beneficioso para el sistema del humedal artificial [3].

En la figura 6 se presenta una fotografía de los protozoos en el humedal.



Figura 6. Fotografía de un protozoo presente en el humedal.

Algas: son protistas unicelulares, autótrofos y fotosintéticos. La presencia en las aguas es indeseable ya que producen malos olores y sabores en el agua de consumo, sin embargo, para el fin del sistema biofiltro, constituye un indicador de la eficiencia de remoción de nitrato, debido a que las mismas utilizan para su reproducción principalmente material inorgánico: nitrógeno y fósforo (ver figura 7).

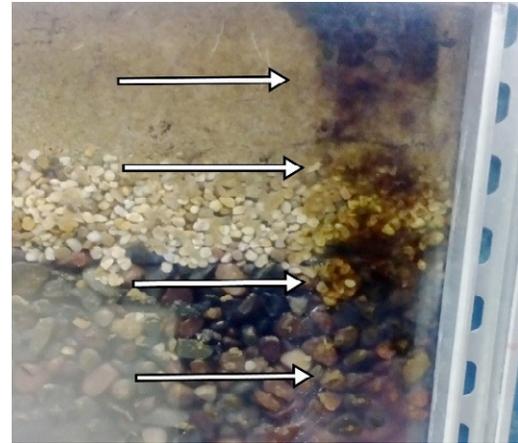


Figura 7. Fotografía de una franja de algas adheridas al reactor presente en el humedal.

3.2 Parámetros físicos - químicos

3.2.1 DBO₅

Entre los parámetros estudiados se encuentra la demanda biológica de oxígeno (DBO); la cual es la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación aeróbica biológica de los sólidos orgánicos del agua.

La eficiencia del sistema estuvo en un rango entre el 50% y 90%. Siendo un sistema de tratamiento secundario con alta remoción de DBO.

La Tasa de Remoción obtenida tuvo un promedio de $Tr = 0.0070 \text{ mg/L min de DBO}_5$

3.2.2 DQO

La prueba de DQO, mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar químicamente la materia orgánica. En la figura 8 se presentan los resultados obtenidos.

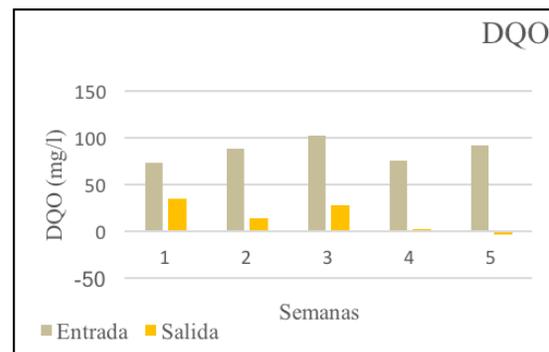


Figura 8. Relación entre entrada y salida de DQO.

Se pudo concluir que la DQO en la salida del sistema es menor que la de la entrada, y es porque los microorganismos que están alojados en las raíces de las plantas utilizan gran parte del oxígeno.

Los valores de la salida son menores a 100 mg/LI, es decir que cumple con el rango establecido de la COPANIT-35-2000 [4].

La eficiencia del sistema fue de 82.03%. Siendo un sistema de tratamiento secundario con alta remoción de DQO. La Tasa de Remoción obtenida tuvo un promedio de $Tr = 0.019 \text{ mg/l min de DQO}$.

3.2.3 Temperatura

Determina el desarrollo de la actividad bacteriana cuyo rango óptimo es entre 25 °C a 35°C. Cuando la temperatura se acerca a 50°C los procesos de digestión aerobia y nitrificación bacteriana se detienen [5].

3.2.4 Salinidad

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua. La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas [6]. En la figura 9 se presentan los resultados obtenidos en la experiencia realizada.

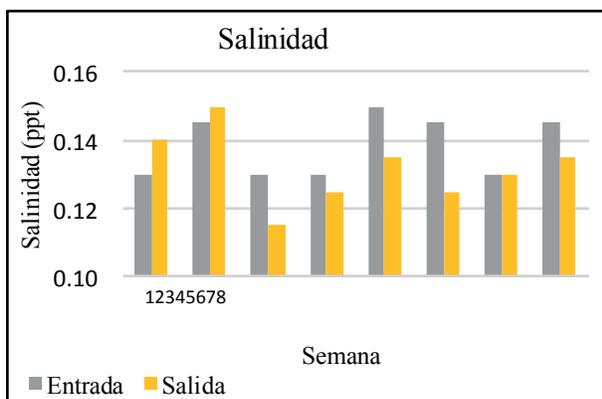


Figura 9. Relación entre resultados de entradas y salida de salinidad.

3.2.5 pH

Para obtener un pH óptimo en sistema de remoción de nitrato debe estar entre 6.5 a 8.5.

El pH indica la concentración de iones de

hidrógeno en una disolución [5]. En la figura 10 se presentan los resultados obtenidos.

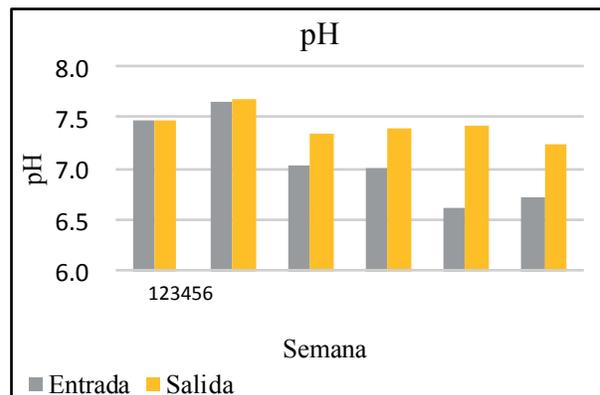


Figura10. Relación entre resultados de entradas y salida de pH.

Como se puede observar los resultados de la entrada en las últimas semanas son más bajos que la salida y por debajo de 7. Los resultados que son importantes, en un sistema de remoción, obtuvimos que está en un pH óptimo, el sistema.

3.2.6 Potencial de Óxido - Reducción (ORP)

El potencial de óxido reducción (ORP), es un parámetro de control utilizado con la finalidad de ver la capacidad que tienen los microorganismos de degradar la materia orgánica (en nuestro caso, descomponer los contaminantes), entre más baja esté, hay más energía [7].

3.2.7 Nitrato

La contaminación por nitratos en la actualidad, es un problema generalizado y creciente que afecta tanto a la calidad de las aguas superficiales como a las subterráneas [8-9].

La eficiencia del sistema en función del nitrato estuvo en un rango entre 75% a 90% con una tasa de remoción de 0.015 mg/min (ver figura 11).

3.2.8 Sólidos

Como parte de los parámetros a evaluar están los sólidos presentes en el agua, los mismos se dividen en:

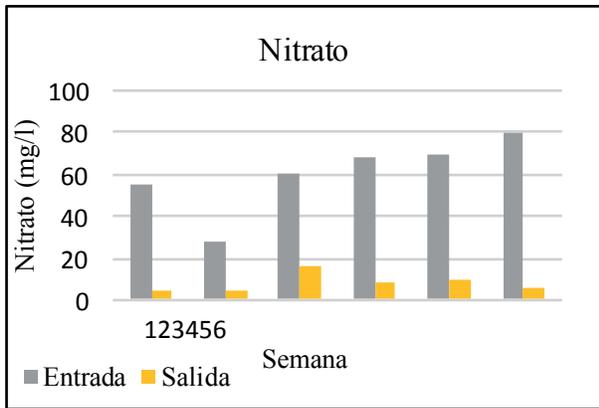


Figura 11. Relación entre entradas y salidas de nitrato.

Sólidos Totales: son la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a una temperatura entre 103 °C y 105 °C hasta que se evapore.

Sólidos Suspendedos: fracción de sólidos que quedan retenidos por el filtro.

Sólidos Filtrables: fracción de sólidos que pasan a través del filtro de membrana.

Sólidos Suspendedos Volátiles: fracción de sólidos presentes en el agua filtrada que se volatilizan a temperaturas de 500-550 °C. [10]

Estos resultados se obtuvieron en el laboratorio dos veces por semana, obteniendo resultados generalmente favorables y los resultados se presentan en la figura 12.

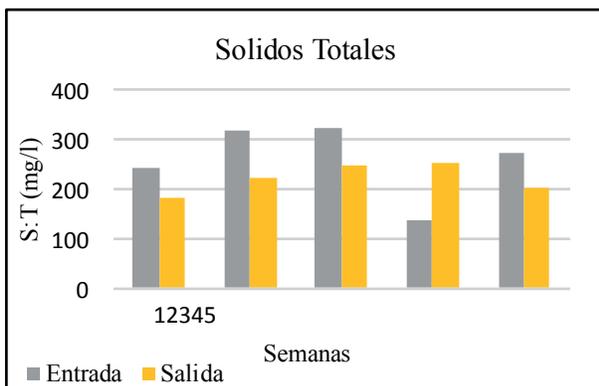


Figura 12. Relación entre entradas y salidas de S.T

El % de eficiencia osciló entre 25%-38%, debido a que el humedal no ejerce la función de sedimentador se puede observar que la remoción

de sólidos no es tanta. Además, en la tercera y cuarta semana de octubre los sólidos salieron más altos en la salida, debido al aumento de caudal.

3.3 Prueba de granulometría

A través de una prueba de granulometría se conocieron las características del lecho filtrante tomando una muestra representativa de la misma de capa base (arena + grava) y arena (ver figura 13).

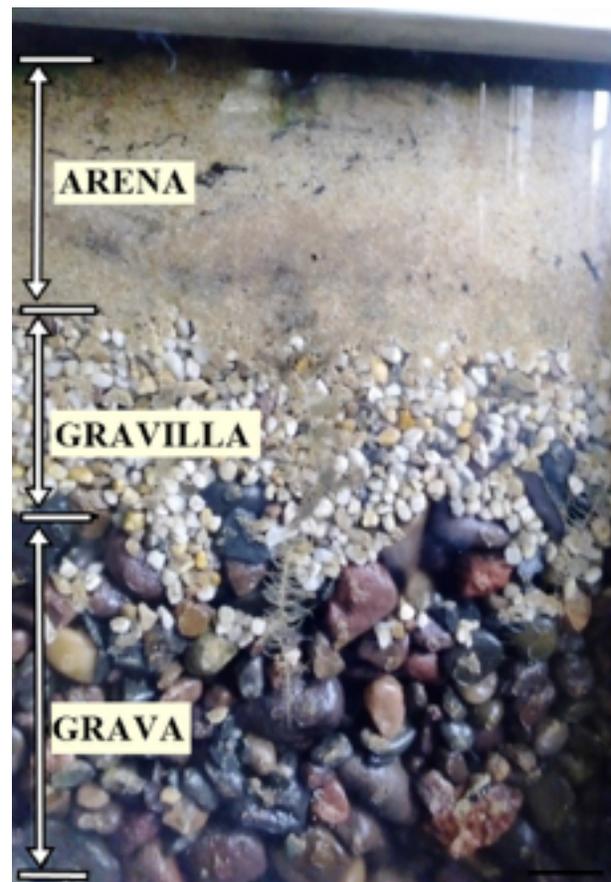


Figura 13. Fotografía de un segmento visible del filtro. De abajo hacia arriba, capa de grava, capa de gravilla y capa de arena.

3.3.1 Capa base (muestra de grava + arena)

El 76% de la muestra de capa base, corresponde a la Grava dentro de la cual el 61% es catalogada como Grava Media con un rango de diámetro entre 19.1 mm y 9.52 mm y una porosidad eficaz del 30%.

En la tabla 1 se presentan las características del lecho filtrante.

Tabla 1. Características del lecho filtrante

Características	Grava	Arena
D 60 (mm)	14	0.79
D 30 (mm)	10.5	0.70
D 10 (mm)	10	0.475
Coefficiente de uniformidad Cu	17.5	1.7
Coefficiente de curvatura Cc	9.8	1.3
Porosidad eficaz n (%) (Asumido)	30	25

4. Análisis de resultados

Dentro del sistema se encontró una gama amplia de microorganismos, de los cuales se encontraron tanto anaeróbicos como aeróbicos proporcionando al sistema un balance de reacciones ocurridas tanto en zona aeróbica como anaeróbica.

La mayoría de los microorganismos se encontraron en el biopelícula de las raíces de la planta.

Los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos fueron satisfactorios ya que la gran mayoría de concentraciones disminuían en el área de muestreo de salida, los cuales nos indica que el sistema estuvo funcionando de manera eficaz, filtrando las concentraciones de contaminante y purificando el agua.

Las concentraciones de nitrato disminuyeron en un rango de 75% a 90% en promedio. Esto debido a la gran acción de las plantas, microorganismos y el lecho filtrante.

El efecto del bisulfito de sodio de reducir el oxígeno tuvo una gran influencia para la remoción de nitrato.

Los parámetros de control como la temperatura, se mantuvieron estables al largo

de todo el periodo de duración del proyecto, se notó también una gran disminución de Demanda Bioquímica de Oxígeno y de la Demanda Química de Oxígeno.

5. Conclusiones

Como resultados finales concluimos que el biofiltro humedal artificial es un sistema eficiente, ya que remueve de manera eficaz los niveles de nitrato y DBO según los resultados obtenidos en este sistema a nivel de laboratorio, otra de las ventajas es que utiliza tanto microorganismos anaeróbicos como aeróbicos. Además, se encontraron pocos microorganismos patógenos, lo cual indica una calidad del agua aceptable.

El mantenimiento de la misma es muy sencillo y el costo de producción muy bajo, ya que no requiere energía eléctrica. Por ende, la catalogamos como una excelente opción como tratamiento secundario.

Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes; para que se dé un tratamiento íntegro.

A nivel de macro proyecto, es una excelente opción de tratamiento de aguas crudas debido a su bajo costo y podría ser utilizado en comunidades de escasos recursos.

El tratamiento biológico que se da por parte de los microorganismos alojados en las raíces de las plantas (*Typha angustifolia*) de nuestro sistema humedal artificial, tiene una eficiencia muy buena a la hora de disminuir concentraciones de contaminantes, en este caso el nitrato; sería bueno poner a prueba este sistema para tratar aguas de un sitio en específico, ya que en Panamá este tipo de tratamiento casi no se utiliza; sería un tratamiento de bajo costo a comparación de otras plantas de tratamiento de aguas residuales.

Agradecimiento

Especial agradecimiento a la Universidad Tecnológica y al profesor José Luis Chávez

Alemendas (et al): Evaluación de un sistema biofiltro humedal de remoción de nitrato de material fijo inerte de flujo vertical ascendente a escala de laboratorio.

quien nos apoyó en los procesos de distintas pruebas físicas, químicas y biológicas.

REFERENCIAS

- [1] Javier M. Sanz – Depuración de Aguas Residuales con Humedales Artificiales.
- [2] Bitton G., Wastewater Microbiology, Wiley-Blackwell, Hoboken N.J., 2011.
- [3] Metcalf & Eddie, Ingeniería de aguas residuales, Mcgraw-Hill, España, 1995.
- [4] COPNAIT-DGNTI-35-2000 “Descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos y masa de agua superficial y subterráneas.”
- [5] Delgadillo, O.; Camacho, L.; Pérez, L. & Andrade, M. Online Available: http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf
- [6] Online Available: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-salinidad.pdf>- University of Puerto Rico, Mayagüez Campus.
- [7] Online Available: <http://www.ozono21.com/actualidad-interna/agua-ozono-orp/372/>
- [8] Oscar Delgadillo, Alan Camacho. Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales.
- [9] Online Available: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2009/06/02/119366>
- [10] American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington : s.n., 18th edition, 1992.