

# Evaluación de un filtro biológico con material de soporte inorgánico – rocas – a una escala de laboratorio

## Evaluation of a biological filter with inorganic support material – rocks – on a laboratory scale

84

Ramón Ábrego<sup>1</sup>, Celia Ballesteros<sup>1</sup>, Víctor Cerezo<sup>1</sup>, Yajaira Chung<sup>1</sup>, Cinthia Farrugia<sup>1</sup> & Erick Vallester<sup>2\*</sup>

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

<sup>2</sup>Departamento de Hidráulica, Sanitaria y Ciencias Ambientales – Facultad de Ingeniería Civil  
– Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** El proyecto consiste en un sistema con material de soporte inorgánico (rocas), que se mantiene en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno), en el cual se vierten de una manera intermitente aguas sintéticas con nitrato de potasio (+/-29.4 mg/L). En el material de soporte se da la formación de la biopelícula, la cual está formada por materia orgánica acumulada (en forma de tejido celular) que se desprende y se descarga con el efluente, y se produce sedimentación de los sólidos los cuales pasan al vertedero, con flujo ascendente. Para determinar la eficiencia del sistema se realizan diferentes pruebas como: DQO, pH, conductividad, alcalinidad, sólidos (totales, disueltos, suspendidos, volátiles), temperatura, presencia de microorganismos, coliformes totales, turbiedad, nitratos y oxígeno disuelto.

**Palabras claves** Anaeróbicas, biopelícula, inorgánica, nitrato, orgánica, rocas, sedimentación.

**Abstract** The project consists of a system with inorganic carrier material (rocks), which remains under anaerobic conditions (absence of oxygen), which is discharged in an intermittent manner synthetic water with potassium nitrate (+/-29.4 mg / L). In the support material forming the biofilm, which consists of accumulated organic matter (in the form of cellular tissue) that follows and discharged with the effluent occurs, and sedimentation of solids occurs which pass into the landfill with upflow. To determine the efficiency of the system as different tests are performed: DQO, pH, conductivity, alkalinity, solids (total dissolved, suspended, volatile), temperature, presence of microorganisms, total coliforms, turbidity, dissolved oxygen and nitrates.

**Keywords** Anaerobic, biofilm, inorganic, nitrate, organic, rocks, sedimentation.

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

## 1. Introducción

Los filtros biológicos o bacterianos son sistemas de depuración biológica, en los que la oxidación se produce al hacer circular, a través de un medio poroso o material de soporte aire y agua residual.

Los microorganismos que se encuentran en la superficie sólida están inmóviles y entran en contacto con el aire y las aguas a tratar. A partir de estos se forma una película o capa con los microorganismos específicos dependiendo de las condiciones en las que se encuentra el filtro.

Allí se producen las reacciones de intercambio de oxígeno y de óxido-reducción con la materia orgánica. La investigación fue realizada a partir de un filtro biológico anaeróbico, el cual consta de un compartimento de decantación, en el cual se realiza la homogenización del agua, la sedimentación de los sólidos gruesos y una reducción de la materia orgánica, gracias a la acción de bacterias anaeróbicas con digestión y parcial estabilización de los fangos generados.

El filtro biológico está formado por un relleno de material de origen mineral (piedras), los cuales se encuentran en compartimento de decantación.

El agua penetra en este filtro por goteo a través de una serie de 3 tubos, a la superficie del material soporte (piedras) y la materia orgánica y sustancias contaminantes del agua son degradadas en una película biológica compuesta por microorganismos, que se desarrollan alrededor de los elementos constitutivos de la masa de material soporte.

Al aumentar el espesor de la capa de microorganismos adheridos, la parte más profunda entra en anaerobiosis por no llegar allí el oxígeno. Se produce una fase anaeróbica con desprendimiento de gases y rotura de la película, perdiendo la capacidad de adherencia al medio poroso [1].

Se desprende entonces la película que es arrastrada por el agua y conducida al vertedero. Todo este procedimiento es llevado a cabo a escala de modelo de laboratorio.

Como parte del curso de Tratamiento de Aguas Residuales se desarrolla esta

investigación que tiene como objetivo evaluar el crecimiento de microorganismos en un medio inerte que pudiese servir de elemento removedor de nitrato en el agua.

El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), se transforma en nitrógeno gaseoso ( $\text{N}_2$ ), para el cual se requiere un proceso inicial de activación ya que la formación de una población bacteriana suficientemente grande requiere cierto tiempo que será más o menos largo en función de la gestión y condición en la que se encuentre el filtro. Además de la reducción de nitrato, estos tipos de filtros pueden reducir el nivel de  $\text{DBO}_5$ .

La eficiencia de los filtros biológicos nitrificantes depende también del medio filtrante utilizado. Cuanto mayor sea la superficie específica del medio mayor será el nivel de nitrato eliminado.

## 2. Metodología y equipos

El filtro biológico tiene una estructura construida con placas de acrílico con 0,5 cm de espesor, cuenta con una superficie plana de 38.8 cm de largo por una altura de 17.6 cm y una profundidad de 15.4 cm.

En su interior contiene 117 rocas que forman una capa de 9 cm de altura y un vertedero en forma rectangular con un área de 15.4 cm x 13 cm. Recibe por medio de flujos intermitentes, aguas sintéticas de diferentes características cada una, las cuales alcanzan un volumen de 5.27 L (ver figura 1).

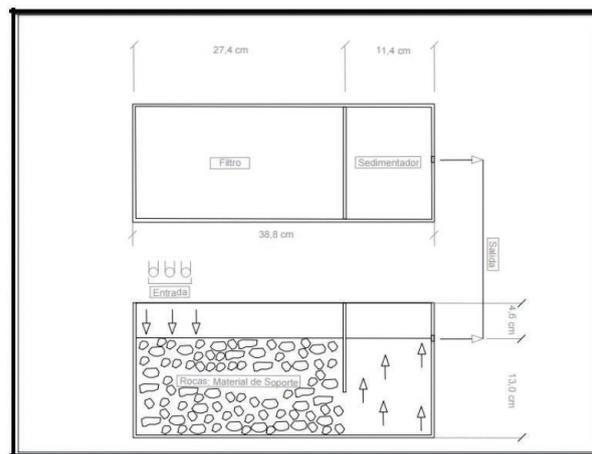


Figura 1. Dimensiones del filtro construido.

## 2.1 Pruebas de laboratorio Observación de microorganismos:

se utilizaron métodos como: Tinción de Gram, Coliformes Totales, Conteo de Colonias para identificar la morfología de los microorganismos desarrollados siendo estos indicadores de contaminación.

El equipo utilizado fue el microscopio con el objetivo de 100x, portaobjetos, cubreobjetos.

**Características del agua:** se midieron los parámetros como temperatura, pH, conductividad, salinidad, ORP, OD,  $\text{NO}_3$ , turbiedad dos veces por semana para mantener el sistema estable.

**Cálculo de sólidos:** para el cálculo de los diferentes sólidos se utilizó el método de filtrado con un aparato de filtración apropiado y cápsulas de porcelanas de 100 ml, papeles filtros.

**Cálculo de  $\text{DBO}_5$  y  $\text{DQO}$ :** se utilizaron diferentes diluciones para el  $\text{DBO}_5$ , así como también incubadora, dispositivo para airear las muestras, tubos de ensayo para el  $\text{DQO}$  y el digestor de  $\text{DQO}$ .

**Índice volumétrico de lodos:** se utilizó el método del Cono de Imhoff para el cálculo del IVL dejándolo sedimentar por 30 minutos.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Microorganismos observados

Los microorganismos encontrados se observan en aguas con grandes cantidades de materia orgánica, niveles de pH neutros, viven generalmente en plantas acuáticas, algas o rocas sumergidas. Algunas de estos microorganismos encontrados son:

**Coconeis (Familia: Diatomeas):** Habita en los cursos de agua dulce y se encuentra ampliamente distribuida por todo el planeta. Viven en agua con un pH ligeramente básico y no soporta las aguas completamente limpias, habita mejor en las zonas en las que existe una pequeña cantidad de materia orgánica, pero tampoco soporta un elevado nivel de contaminación. Son utilizadas para la vigilancia de las condiciones medioambientales, de la calidad del agua y en el estudio de los cambios climáticos.

**Surirella:** Es una de las diatomeas más comunes en las aguas acidas de las lagunas de

montaña o de tuberías, se desarrolla en ambientes moderadamente ricos en materia orgánica y presenta una ornamentación formada por gruesas costillas transversales.

**Nitzchia:** Es uno de los más complejos dentro de las diatomeas, incluye cerca de mil especies, la mayoría de ellas marinas, otras de agua dulce y presenta una gran variabilidad de formas y tamaños. Algunas habitan en condiciones extremas de temperatura desarrollándose de manera óptima por debajo de  $6^\circ\text{C}$ , otras en ambientes hipersalinos o en presencia de altas concentraciones de diferentes sustancias químicas o de materia orgánica. Algunas sintetizan un potente neurotóxico, el ácido domoico, una toxina que es responsable de la enfermedad humana llamada intoxicación amnésica (ver figura 2).

**Paramoecium:** Son protistas ciliados, con forma ovalada, habituales en aguas dulces estancadas con abundante materia orgánica en descomposición y que, por tanto, son ricas en sustancias nutritivas.

Son probablemente los seres unicelulares mejor conocidos y más estudiados por la ciencia. Carecen de flagelos, pero los cilios son muy abundantes y recubren toda su superficie.



Figura 2. *Nitzchia* vista al microscopio.

**Dictyosphaerium:** Es un alga verde que al dividirse se despliega en ramas de simetría. Están unidas por los tenues filamentos que las sostienen en equilibrio, y envueltas en una imperceptible envuelta de mucílago que protege toda la colonia reforzando su unión ayudándola a mantenerse en la superficie del agua.

Está ampliamente repartida y forma parte del plancton de las masas de agua dulce, aunque en ocasiones puede desarrollarse asociada a algunas plantas acuáticas que viven sumergidas.

**Cianobacterias:** Son un filo del dominio bacteria, que comprende las bacterias capaces de realizar fotosíntesis oxigénica.

Son los únicos procariontes que llevan a cabo este tipo de fotosíntesis, por ello también se les llamo oxifobacterias. Miden solo unos micrómetros de diámetro, pero son más grandes que la mayoría de las otras bacterias.

Las más comunes son unicelulares cocoides, a veces agregadas en una cápsula mucilaginosa o formando filamentos simples. Comparten con algunas otras bacterias la capacidad de usar N<sub>2</sub>, atmosférico como fuente de nitrógeno.

**Zooglea:** Forma un polímero extracelular que permite la agregación. Actúa como sustrato al que se adhieren otros microorganismos, bacterias protozoos, presentes en su medio.

Principal componente de los lodos activados de las EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Permite la formación de floculos compactos que sedimentan.

### 3.2 Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal...) por unidad de tiempo.

Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo y en la figura 3 se muestra la variación del caudal utilizado en el filtro.

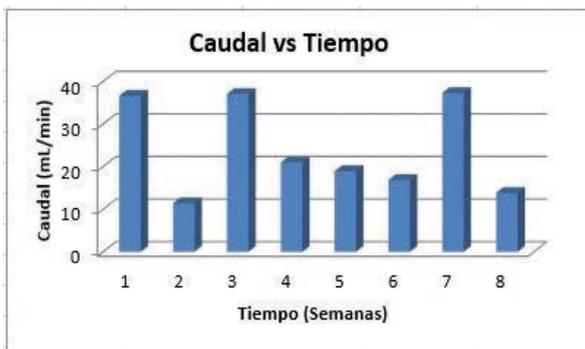


Figura 3. Gráfica del caudal en función del tiempo.

El filtro cuenta con una entrada, en la cual se vierten aguas sintéticas de flujo intermitente que provienen de tres conductos con características y una composición distinta, obtuvimos un caudal promedio de 28 ml/s.

En el proceso de caída al filtro los microorganismos presentes en el agua reciben oxígeno, el cual los ayuda a un mejor desarrollo. Es necesario mantener un caudal constante para que la formación de la biopelícula se dé sin ningún problema.

### 3.3 Coliformes totales

Son bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. Del grupo coliformes forman parte varios géneros: Escherichia, Enterobacter, Klebsiella, Citrobacter, etc. [2]

La presencia de coliformes indica contaminación bacteriana en el agua como puede ser observado en la figura 4. Es de suma importancia el resultado de esta prueba pues es un indicador de la vida microbiana en el filtro.

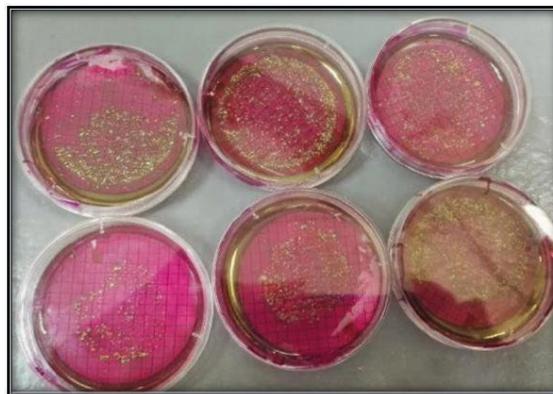


Figura 4. Coliformes totales obtenidos en las pruebas de laboratorio.

### 3.4 Oxígeno disuelto

Es el oxígeno que está disuelto en el agua. Esto se logra por difusión del aire del entorno, la aireación del agua que ha caído sobre saltos o rápidos; y como un producto de desecho de la fotosíntesis. [2]

En la figura 5 se presentan los resultados de la variación del oxígeno disuelto en función del tiempo.

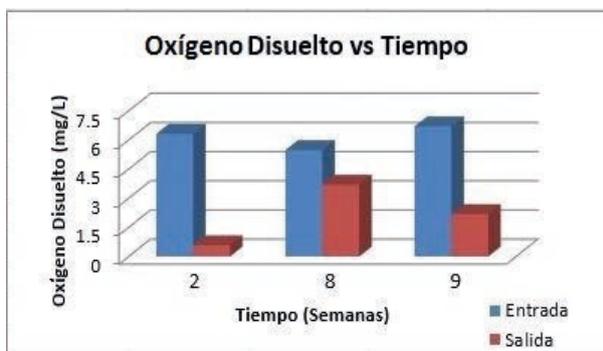


Figura 5. Gráfica del oxígeno disuelto en función del tiempo.

La gráfica muestra un aumento en los niveles de OD en la entrada, ya que la mayoría de los microorganismos que allí habitan pueden vivir en condiciones anaeróbicas.

### 3.5 Temperatura

La temperatura es una propiedad física que se refiere a las nociones comunes de calor o ausencia de calor. En la figura 6 se presentan los resultados de la variación de la temperatura dentro del filtro en función del tiempo.

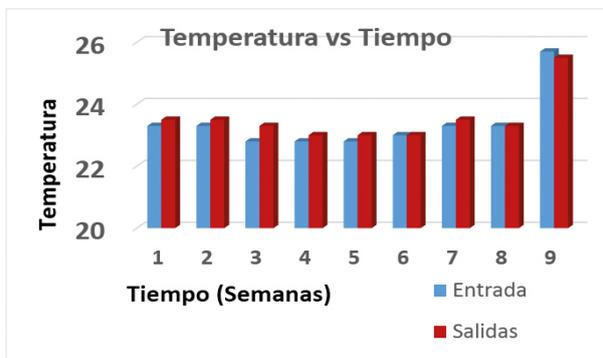


Figura 6. Gráfica de la temperatura en función del tiempo.

La gráfica nos muestra un aumento en la temperatura, tanto de entrada como de salida, lo cual puede verse afectado por las condiciones del ambiente.

### 3.6 Nitratos

Los nitratos son sales o ésteres a partir del ácido nítrico HNO<sub>3</sub>. Como intermedio, los nitratos están presentes en el proceso de

nitrificación / desnitrificación que se utiliza en las plantas depuradoras de aguas residuales.

Se aprovecha el hecho que algunos microorganismos pueden reducir en condiciones anaeróbicas el nitrato directamente a nitrógeno elemental.

Así se eliminan los compuestos de nitrógeno de las aguas donde producirían problemas de eutrofización. Los problemas de H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico) que se generan en las depuradoras, fosas sépticas y redes de saneamiento, también se pueden solucionar con la adición de nitratos.

Como se puede observar en la gráfica de la figura 7, el nitrato (NO<sub>3</sub>) de entrada fue en aumento y el de salida fue disminuyendo, lo que cual puede demostrar el trabajo que ejercen los microorganismos en su consumo.

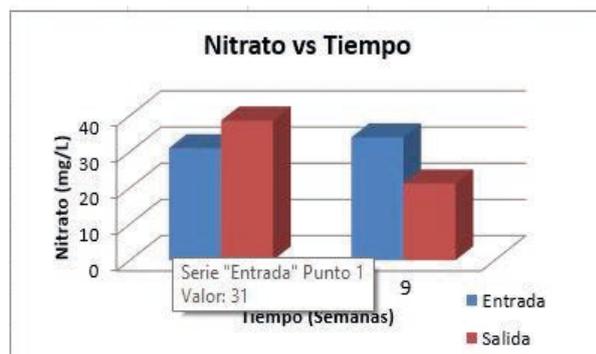


Figura 7. Gráfica del nitrato en función del tiempo.

### 3.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción [4].

Según la gráfica, de la figura 8, se muestra un aumento en la salida del DBO<sub>5</sub> al paso del tiempo eso quiere decir que hay presencia de microorganismos ya que consumen ese oxígeno disponible para degradar la materia orgánica.

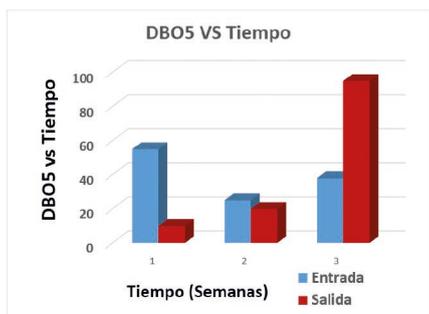


Figura 8. Gráfica del DBO en función del tiempo.

### 3.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O<sub>2</sub>/L).

Aunque este método pretende medir, principalmente, la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros y otros), que también se reflejan en la medida [4].

Según la gráfica, de la figura 9, no hubo una estabilidad tanto en la entrada como en la salida, ya que aumentó y decreció al paso del tiempo.



Figura 9. Gráfica del DQO en función del tiempo.

### 3.9 Turbiedad

Se entiende por turbidez o turbiedad la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión.

Cuanto más sólidos en suspensión haya en el líquido (generalmente se hace referencia al agua), más sucia parecerá esta y más alta será la turbidez.

La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad [3].

Como se puede observar en la gráfica de la figura 10, durante las semanas de medición en la entrada del filtro los valores máximos de entrada y salida son: 29 en la semana siete y 56 en la semana nueve, respectivamente y los valores mínimos son: 14.5 y 35, ambos en la semana 7, de entrada y salida respectivamente.



Figura 10. Gráfica de la turbiedad en función del tiempo.

### 3.10 Sólidos totales (ST)

Sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a una temperatura definida de 103 a 105 °C.

Según la gráfica de la figura 11, en los primeros días, los ST de la entrada son mayores que los ST de la salida, pero esto fue cambiando en las semanas 7 y 8 donde fue drástico el decrecimiento de los ST en la entrada.



Figura 11. Gráfica de los sólidos totales en función del tiempo.

### 3.11 Sólidos Suspendidos (SS)

Es la cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua. Es importante como indicador puesto que su presencia disminuye el paso de la luz a través de agua evitando su actividad fotosintética en las corrientes, importante para la producción de oxígeno.

Como se observa en la gráfica de la figura 12, se obtuvieron valores de 5 a 6 mg/l en la entrada y en la salida de 6 a 12 mg/l, esto indica que en la salida se encuentran más sólidos suspendidos. Los valores negativos se descartaron debido a que esos valores pudieron ser producto de un error al momento de la medición de este parámetro.



Figura 12. Gráfica de los sólidos suspendidos s en función del tiempo.

### 3.12 Sólidos Disueltos (SD)

Son la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto incluye cualquier elemento presente en el agua que no sea (H<sub>2</sub>O) molécula de agua pura y sólidos en suspensión. Al comienzo hubo un aumento de SD tanto en la entrada como en la salida, pero decreció grandemente debido a que la presencia de microorganismo disminuyó al igual que la fracción orgánica de sólidos (ver figura 13).

### 3.13 Sólidos Volátiles (SV)

Son aquellos que se volatilizan a una temperatura de 600 grados centígrados. Si los sólidos totales se someten a combustión bajo una temperatura de 600 grados centígrados durante 20 minutos, la materia orgánica se convierte a

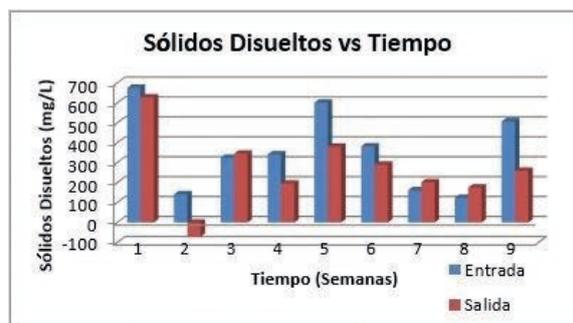


Figura 13. Gráfica de los sólidos disueltos en función del tiempo.

CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Esta pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica o volátil. Los sólidos que no se volatilizan se denominan sólidos fijos.

En la figura 14, se muestra la gráfica en donde se observa que tanto en la entrada como en la salida tienen la misma tendencia en disminuir y aumentar al paso del tiempo, esto indica que en los días que disminuyen los sólidos volátiles, la fracción orgánica presente en el agua, es menor.

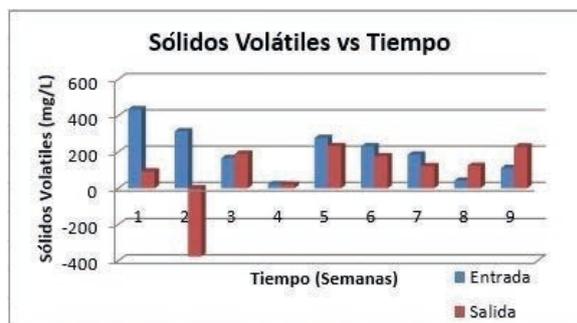


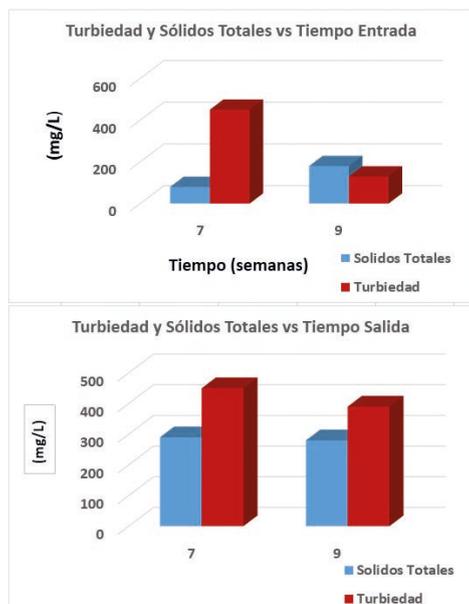
Figura 14. Gráfica de los sólidos volátiles en función del tiempo.

La relación entre la turbiedad y los sólidos totales es proporcional, como se muestra en las semanas que se hicieron las mediciones de turbiedad, excepto en la muestra semana 9 se un aumento en la turbiedad en la salida, de igual forma en la medición realizada la misma semana de los sólidos totales, pero en la entrada la turbiedad es menor que los sólidos totales, como se puede observar en las gráficas de la figura 15.

### 3.14 Índice Volumétrico de Lodos (IVL)

Se define como el volumen ocupado, en mililitros por gramo de barro biológico luego de

30 minutos de sedimentación. Permite evaluar si el lodo decanta correctamente o no.



**Figura 15.** Relación de turbidez y sólidos totales con respecto al tiempo.

La presencia del sedimentador ayuda a que los lodos se establezcan, a medida que aumenta el tiempo se incrementa la cantidad de lodos siendo indicador de la degradación de la materia, confirmando su eficiencia. Tiene una velocidad de sedimentación la cual va incrementando a medida que pasa el tiempo con respecto a la cantidad de materia orgánica presente en el agua (ver figura 16).



**Figura 16.** Gráfica del IVL en función del tiempo.

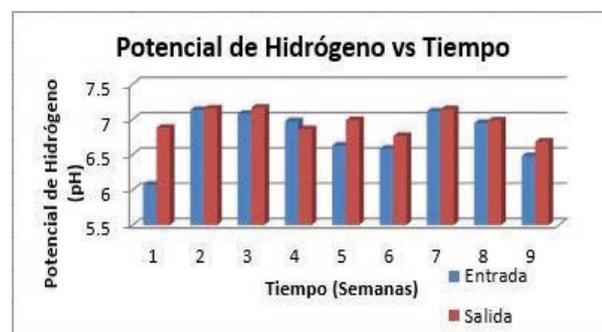
### 3.15 Potencial de Hidrógeno (pH)

Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución.

El pH indica la concentración de iones hidrógeno  $[H]^+$  presentes en determinadas

disoluciones. Esta expresión es útil para disoluciones que no tienen comportamientos ideales, disoluciones no diluidas [3].

Como se muestra en la figura 17, en la semana número 1 se una disminución del pH, lo que hace que el agua se vuelva ácida, esto podría la producir la muerte de los microorganismos.



**Figura 17.** Gráfica del potencial de hidrógeno en función del tiempo.

La gráfica muestra un comportamiento sinusoidal durante las semanas en donde el valor máximo de entrada y salida son 7.13 en la semana dos y 7.16; en la semana tres, respectivamente y valores mínimos de 6.07 en la semana uno y 6.68 en la semana 9 de entrada y salida respectivamente.

En las semanas que se realizaron los análisis en la entrada del filtro en la primera semana el pH es bajo y se ve un aumento en la última semana de análisis. Pero a diferencia de la salida entre la semana 1 y 9 el pH disminuye.

### 3.16 Potencial óxido – reducción (ORP)

Una forma de cuantificar si una sustancia es un fuerte agente oxidante o un fuerte agente reductor, es utilizando el potencial de oxidación-reducción o potencial redox.

De los agentes reductores fuertes pueden decirse que tienen un alto potencial de transferencia de electrones [1].

En las semanas que se realizaron las mediciones se encuentran valores mínimos de -160.9 en la semana 9 en la entrada y -99.3 en la semana 6 en la salida y máximos de 63.3 en la semana 2 en la entrada y 61.6 en la semana 1 en la salida como promedio (ver figura 18).

Normalmente, las reacciones redox vienen acompañadas de cambios de pH en el medio.



Figura 18. Gráfica del ORP en función del tiempo.

Su relación se denota cuando el pH es menor a aproximadamente 6.8, cuando este es menor, el ORP tiende a ser negativo

### 3.17 Conductividad

Es la propiedad de aquello que es conductivo (es decir, que tiene la facultad de conducir). Se trata de una propiedad física que disponen aquellos objetos capaces de transmitir la electricidad o el calor [3].

Durante las semanas de medición en la entrada del filtro los valores máximos de entrada y salida son: 587.3 en la semana 1 y 551 en la semana 6 respectivamente y los valores mínimos son: 350 y 354.5, ambos en la semana 7, de entrada y salida respectivamente (ver figura 19).



Figura 19. Gráfica de la conductividad en función del tiempo.

El valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad como se ve en la semana 1 que se ve una cantidad de

sólidos disueltos alta, en las otras semanas no se nota este hecho debido a que se hizo un promedio entre las dos mediciones semanales, ya que teste hecho también se denota en la semana 9.

## 4. Conclusiones

La formación de la biopelícula en las rocas es de gran importancia ya que ahí se da la presencia de microorganismos que son la fuente principal del proyecto, de la existencia de ellos depende que haya una degradación de la materia orgánica generando aguas más limpias y en condiciones permisibles para descargar a los cuerpos de aguas superficiales evitando así la contaminación de los mismos.

La relación DQO/DBO<sub>5</sub> en la entrada muestra una gráfica creciente en el cual supera el valor de 2,5; esto quiere decir que los residuos provenientes de este sistema necesitan un tratamiento antes de ser descargado, en el cual es más recomendado es un tratamiento biológico a través de un filtro biológico.

La mayor parte de la sedimentación presente en el filtro, proviene de la degradación de la materia orgánica, la zooglea que se forma alrededor de las rocas, también se desprende de las rocas incrementando la turbiedad, por lo que es claramente observado los niveles de salida superiores a los de la entrada.

## Agradecimiento

El presente artículo de investigación fue asesorado por el Mgtr. Erick Vallester, a quien le expresamos nuestro más sincero agradecimiento.

## Referencias

- [1] Antonio G. Pisabarro Catedrático de Microbiología. Microbiología Clínica 1er Curso de Diplomatura en Enfermería, Pamplona, 2008- 2009.
- [2] Camacho, A., M.Giles, A.Ortegón, M.Palao, B.Serrano y O.Velázquez. 2009. Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.

*Ábrego (et al): Evaluación de un filtro biológico con material de soporte inorgánico – rocas - a una escala de laboratorio*

- [3] Miliarium Aureum, S.L Ingeniería Civil, Construcción y el Medio Ambiente, España, Madrid, 2001- 2004.
- [4] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 25 ed., New York, 2005.