



Capa biológica en los filtros percoladores a diferente carga orgánica en zona andina

Biological layer in trickling filters at different organic loads in the Andean area

Rosario Polo Salazar^{1*} Joselin Luna Huaman¹ Judith Flores Albornoz¹
 Martín Huamán Carranza¹ Bheny Tuya Cerna¹ Yony Rodríguez Minaya¹

¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.

Recibido: 27 Feb, 2024 | Aceptado: 28 May, 2024 | 20 Jul.2024

Autor: de correspondencia*: rpolos@unasam.edu.pe

Como citar este artículo: Polo Salazar, R. Capa biológica en los filtros percoladores a diferente carga orgánica en zona andina. *Aporte Santiaguino*, 17(1).

<https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n1.1133>

RESUMEN

La investigación estudia la capa biológica en filtros percoladores, sobre todo en el medio filtrante donde se desarrollan los microorganismos que utilizan la materia biodegradable. El objetivo fue evaluar la capa biológica que se desarrolla en los filtros percoladores en medio de soporte de grava y carbón vegetal y cómo afecta la carga hidráulica y carga orgánica. Se elaboró nueve filtros percoladores a escala piloto, seis con soporte de carbón vegetal y tres con soporte de grava, con profundidades 0.08, 0.41 y 0.74 m. Los resultados mostraron que la generación de la capa biológica ocurrió desde el primer contacto con el agua residual en el medio filtrante. Posteriormente, hubo la presencia y desarrollo de protozoarios flagelados (*Vorticella* y *Euglena*), protozoos ciliados (*Colpoda*, *Oxytrichia* y *Paramecium*), rizopodos (*Amoebas*) y rotíferos (*Lecane*). Se concluye que la carga hidráulica sí afecta el crecimiento de la capa biológica. Por ello, si el soporte tiene una tasa mínima de humedad puede ocasionar la caída de microorganismos y, el exceso, el rompimiento de la capa biológica. La contribución orgánica también perturba el crecimiento de la capa biológica, ya que la materia orgánica es absorbida, permitiendo a los microorganismos degradarla y crecer, aumentando el espesor de la biopelícula.

Palabras Clave: Capa biológica; Biopelícula; Filtros percoladores; Microorganismos; Carga orgánica; Aguas residuales.

ABSTRACT

The research studies the biological layer in trickling filters, especially in the filter medium where the microorganisms that use biodegradable material develop. The objective was to evaluate the biological layer that develops in trickling filters in gravel and charcoal support medium and how it is affected by hydraulic load and organic load. Nine pilot-scale trickling filters were developed, six with charcoal support and three with gravel support, with depths of 0.08, 0.41 and 0.74 m. The results showed that the generation of the biological layer occurred from the first contact with the waste water in the filter medium. Subsequently, there was the presence and development of flagellated protozoa (*Vorticella* and *Euglena*), ciliated protozoa (*Colpoda*, *Oxytrichia* and *Paramecium*), rhizopods (*Amoebas*) and rotifers (*Lecane*). It is concluded that hydraulic load does affect the growth of the biological layer. Therefore, if the support has a minimum level of humidity, it can cause the fall of microorganisms and, if there is too much, the breaking of the biological layer. The organic contribution also disturbs the growth of the biological layer, since the organic matter is absorbed, allowing the microorganisms to degrade it and grow, increasing the thickness of the biofilm.

Keywords: Biological layer; Biofilm; Trickling filters; Microorganisms; Organic load; wastewater.



INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales siempre ha sido una preocupación para las autoridades y más para las poblaciones rurales (Garzón Zúñiga et al., 2016) que no cuentan con sistemas de tratamientos ni con la economía suficiente para su instalación (Sato et al., 2013). Frente a ello, los filtros percoladores son una alternativa económica y de fácil manejo para poder tratar las aguas residuales domésticas (Alvarado Machado y Guerrero Ramírez, 2019), sobre todo para la eliminación de la materia orgánica basadas en la formación de capas biológicas, biopelículas o biofilms. En muchos lugares, los filtros percoladores han sido usados desde tiempos antiguos para tratar de manera biológica las aguas residuales, de origen doméstico o industrial (Morales-Fiallos et al., 2022).

Cuando el agua contaminada entra en contacto con la capa biológica que se encuentra adherida o fija sobre una superficie sólida (grava o carbón vegetal) (Romero, 2004) permite la adhesión, el crecimiento e incremento poblacional de los microorganismos, aumentando el espesor de la biopelícula (Qu et al., 2019). Además, el crecimiento de la capa biológica permite comprobar el funcionamiento eficaz del filtro percolador, ya que, si se ve afectada de manera directa con la carga orgánica y la carga hidráulica (Espinosa-Rodríguez et al., 2019a) debido a que ambos parámetros afectan de manera directa el desarrollo de los biofilms que están conformados por protozoarios ciliados, protozoarios flagelados, rotíferos, nematodos, rizópodos, entre los más frecuentes (Kornaros & Lyberatos, 2006).

La biopelícula que se desarrolla en un soporte permeable en presencia de oxígeno ha llegado a tener espesores de 50 a 150 μm (Singh et al., 2010), y en algunos casos se han obtenido espesores elevados de 900-3300 μm , disminuyendo el aporte de oxígeno al filtro biológico y la eficiencia del filtro percolador (Rahman et al., 2021). La eficacia de remoción de un filtro percolador está relacionada a la carga orgánica que se aplique (Huamán et al., 2022). Cuando la carga es mayor, la eficacia de remoción disminuye y es independiente de la carga hidráulica (Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco, 2009). Para mayor eficacia de remoción del sistema, es necesario hallar el grosor de la biopelícula con la menor firmeza a la difusión, vigilando la carga orgánica y el desgarramiento de la película debido a las fluctuaciones de la carga hidráulica. (Espinosa-Rodríguez et al., 2019b).

Se utilizaron nueve filtros percoladores: seis filtros con soporte filtrante de carbón vegetal y tres filtros con soporte filtrante de grava, con alturas de 0.08 m, 0.41 m y 0.74 m. La toma de muestra se hizo de manera semanal extrayéndola del medio filtrante, para luego hacer las mediciones del grosor de la capa biológica (Mahto & Das, 2022) y la identificación de los protozoarios.

Con los datos obtenidos, se evaluó el grosor de la capa biológica en los diversos medios filtrantes (Bhambore y Suresh Kumar, 2022), el impacto de la carga hidráulica, carga orgánica y se identificó también a los protozoarios presentes en el biofilm (Scott & Fulton, 1979).

MATERIALES Y MÉTODOS

Según su finalidad, el estudio fue aplicado y experimental. Se demostró el comportamiento óptimo de los filtros percoladores de diferentes secciones superficiales y distinto material filtrante: carbón vegetal y grava convencional. Se hizo una serie de pruebas experimentales, y en cada filtro percolador se determinó la carga orgánica y la carga hidráulica. Luego, se relacionó con el crecimiento de la película biológica en cada soporte filtrante. En la primera etapa, se diseñó el sistema de filtros percoladores teniendo en cuenta el análisis inicial del desagüe a tratar. Verificando la concentración de los parámetros que a evaluar se hizo la medición del caudal de estudio para el sistema de tratamiento. El caudal se determinó con (ecuación (1))

$$Q = \frac{V}{T} \quad (1)$$

Donde Q es el flujo volumétrico de estudio en m^3/d ; V es el volumen de la unidad en m^3 ; y T es el tiempo en días (Borges et al., 2012). Asimismo, para determinar las condiciones de variación del sustrato en el sistema

de tratamiento se trabajó con la carga orgánica que se midió en campo durante todo el proceso de monitoreo. (ecuación (2))

$$C = S_0 * Q \quad (2)$$

Donde Q es el flujo volumétrico de estudio en m³/d; S₀ es concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en kg/m³; y C es la carga orgánica (kg/d) (Ramalho, 2021) obtenida para cada tiempo medido en el experimento.

Para el trabajo se utilizaron nueve filtros construidos con concreto armado de forma rectangular. En cada filtro se tuvo tres puntos de muestreo de acuerdo con la profundidad de 0.08, 0.41 y 0.74 m. de donde se obtuvieron las muestras. Además, los filtros 1, 2, 3, 4, 5 y 6 tuvieron como medio filtrante carbón vegetal, y los filtros 7, 8 y 9, grava. Se hizo la abertura de pequeñas ventanas en cada filtro a las profundidades mencionadas para facilitar la extracción de la muestra.

Selección del soporte filtrante

Se eligió y seleccionó el soporte filtrante de carbón vegetal y grava; ambos de tamaño homogéneo, cuya granulometría fue de un rango de 2 a 3.5 pulgadas, de una densidad de 0.5803 gr/cm³ para el carbón vegetal y de 1.5949 g/cm³ para la grava. Se lavó ambos medios filtrantes para eliminar los limos, escorias, tierra y elementos extraños. Posteriormente, se dejó secar.

Extracción y medición de la muestra

La muestra se extrajo de los nueve filtros en tres profundidades diferentes (0.08, 0.41 y 0.74 m). Con la ayuda de una pinza se extrajo parte del soporte filtrante (grava o carbón vegetal) que se llevó al laboratorio para medir la capa biológica en formación. También se hizo la identificación y cuantificación de los protozoarios en las biopelículas (Isac et al., 1994).

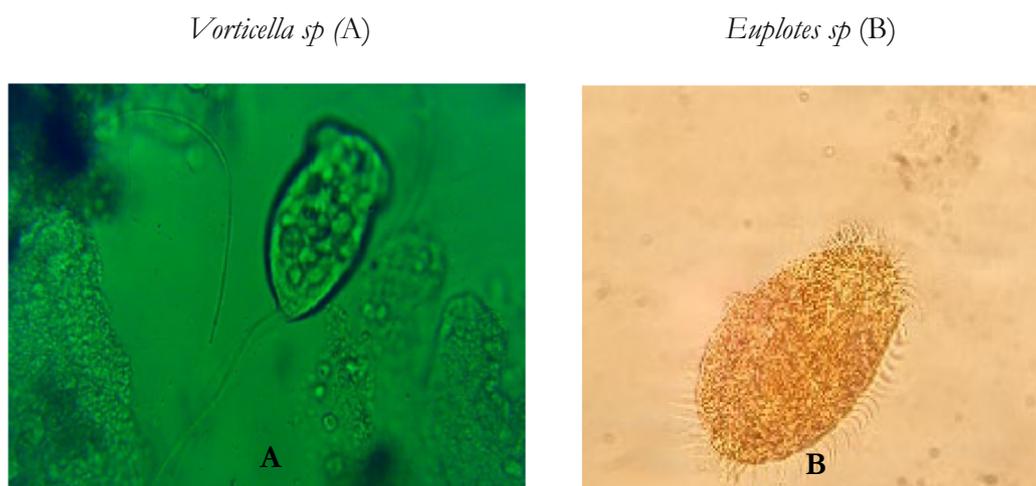
Figura 1

Instalación de filtros pilotos y zonas de muestreo



La identificación de los protozoarios se hizo con el microscopio binocular y cámara fotográfica, utilizando el manual “Protozoos en el fango activo” (Isac et al., 1994), como se muestra en la Figura 2.

Figura 2



RESULTADOS

El funcionamiento de los filtros percoladores a escala piloto se inició con un caudal promedio de 0.48 m³/d, calculándose mediante el método volumétrico. Con los datos obtenidos se determinó que el filtro 03, a una profundidad de 0.08 m, tiene una capa biológica con un máximo espesor de 0.230 mm. En el filtro 05, a una profundidad de 0.41 m, el máximo espesor fue de 0.243 mm y, para una profundidad de 0.74 m, el mayor espesor fue de 0.218 mm. En el filtro 05, los resultados mostraron que el carbón vegetal es más eficiente en un área de medio filtrante de 0.160 m², a una profundidad de 0.74m. En esta área se da mejor la remoción por la distribución homogénea del agua.

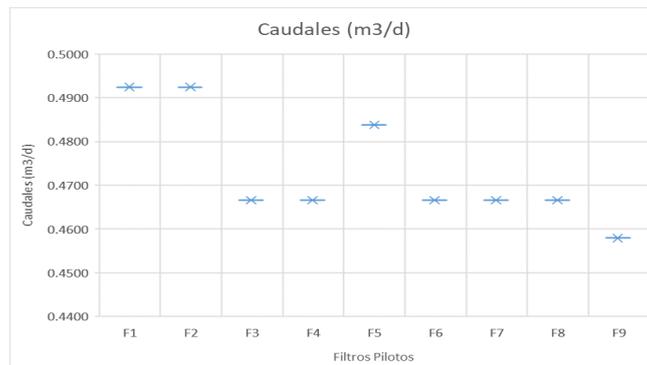
Tabla 1

Medidas descriptivas del caudal de operación (L/s) en los filtros percoladores

Filtro	Caudales (L/s)	Caudales (m ³ /d)	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%	
1	0.0057	0.4925	0.0006	0.0063	0.0065
2	0.0057	0.4925	0.0005	0.0063	0.0065
3	0.0054	0.4666	0.0005	0.0058	0.0064
4	0.0054	0.4666	0.0008	0.0062	0.0063
5	0.0056	0.4838	0.0006	0.0061	0.0062
6	0.0054	0.4666	0.0007	0.0060	0.0063
7	0.0054	0.4666	0.0006	0.0060	0.0063
8	0.0054	0.4666	0.0006	0.0060	0.0063
9	0.0053	0.4579	0.0006	0.0057	0.0064

Figura 3

Comportamiento del caudal de operación (m³/d) en los filtros percoladores



La Tabla 1 y Figura 3 muestran el caudal de operación (L/s). El filtro 01 presentó el mayor promedio, con 0.4924 m³/d; el menor caudal es del filtro 09, con 0.4579 m³/d, variando entre 0.0057 a 0.0064, y la semejanza de los cinco filtros pilotos con un caudal de 0.466 m³/d.

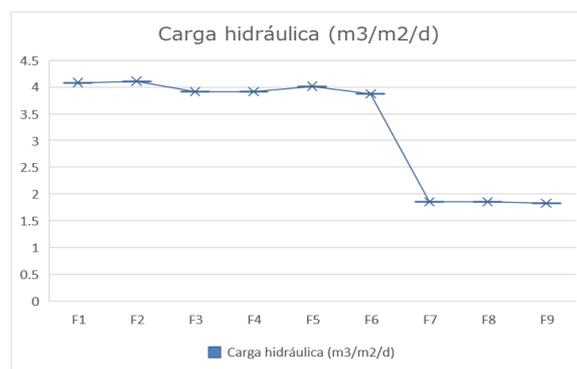
Tabla 2

Mediciones de carga hidráulica aplicada a los tratamientos en los filtros percoladores con h = 0.08 m

Filtro	Carga hidráulica	
	(m ³ /m ² /d)	
F1	4.082	
F2	4.109	
F3	3.911	
F4	3.911	
F5	4.014	
F6	3.875	
F7	1.853	
F8	1.855	
F9	1.827	

Figura 4

Variación de cargas hidráulicas (m³/m²/d) de los filtros percoladores



En la Tabla 2 y Figura 4, se comprobó la variación de la carga hidráulica, donde a una profundidad de 0.08 m sobresale el filtro 02 con una carga de 4.109 m³/m²/d. La menor carga fue del filtro 09 con 1.827 m³/m²/d. También se observó que existe una semejanza en los filtros del 01 al 06, mientras que los efectos de las demás cargas hidráulicas en los filtros de control fueron similares (filtro 07, 08 y 09).

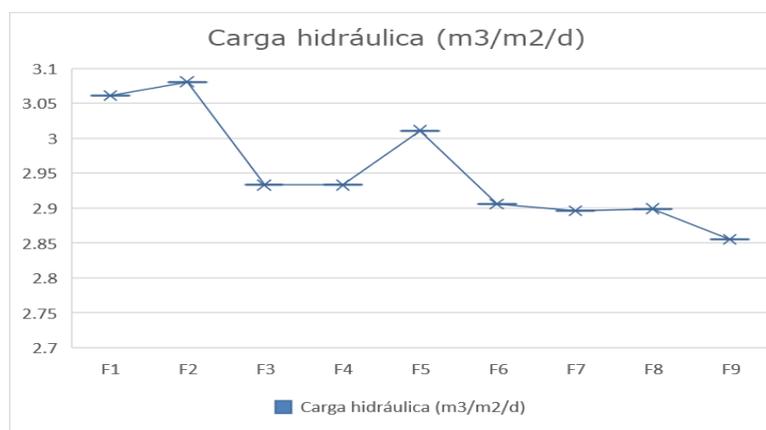
Tabla 3

Mediciones de carga hidráulica aplicada a los tratamientos en los filtros percoladores con $h = 0.41$ m

Filtro	Carga hidráulica (m ³ /m ² /d)
F1	3.061
F2	3.081
F3	2.933
F4	2.933
F5	3.011
F6	2.906
F7	2.896
F8	2.899
F9	2.855

Figura 5

Variación de cargas hidráulicas (m³/m²/d) de los filtros percoladores



En la Tabla 3 y Figura 5, se comprobó cómo varía la carga hidráulica a una profundidad de 0.41 m, siendo en el filtro 02 de 3.081 m³/m²/d, logrando de esta manera una cobertura correcta en todo el volumen del filtro. La menor fue del filtro 09 con 2.855 m³/m²/d y los efectos de las demás cargas hidráulicas en los filtros fueron semejantes.

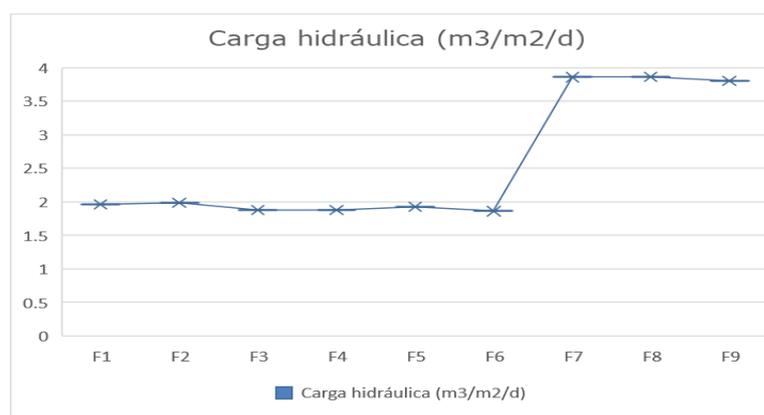
Tabla 4

Mediciones de carga hidráulica aplicada a los tratamientos en los filtros percoladores con $b = 0.74\text{ m}$

Filtro	Carga hidráulica (m ³ /m ² /d)
F1	1.959
F2	1.987
F3	1.877
F4	1.877
F5	1.927
F6	1.860
F7	3.861
F8	3.866
F9	3.807

Figura 6

Variación de cargas hidráulicas (m³/m²/d) de los filtros percoladores



En la Tabla 4 y Figura 6, se comprobó cómo varía la carga hidráulica a profundidad de 0.74 m, donde el filtro 08 tuvo un valor de 3.866 m³/m²/d y la menor carga hidráulica se observó en el filtro 06, con 1.860 m³/m²/d. Los efectos de las demás cargas hidráulicas fueron semejantes.

Áreas superficiales de filtros percoladores y carga orgánica

En la Tabla 5, se tiene los resultados del área superficial de los filtros percoladores y su capacidad de retención y asimilación de la carga orgánica en cada unidad piloto.

Tabla 5

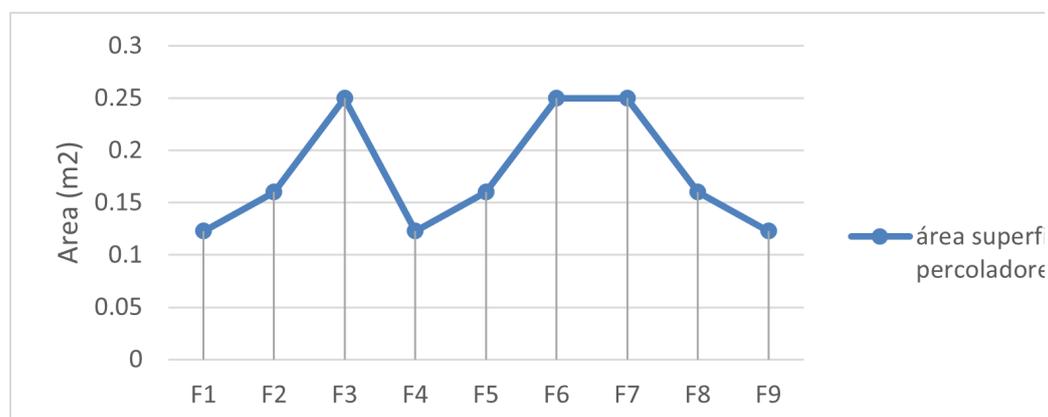
Mediciones de área superficial y carga orgánica en filtros

Filtro	Área superficial de filtros percoladores (m ²)	Carga orgánica h=0.08m (kg DBO/día)	Carga orgánica h=0.41m (kg DBO/día)	Carga orgánica h=0.74m (kg DBO/día)
F1	0.123	0.094	0.080	0.066
F2	0.160	0.095	0.073	0.052
F3	0.250	0.090	0.069	0.047
F4	0.123	0.094	0.077	0.061
F5	0.160	0.096	0.074	0.053
F6	0.250	0.092	0.071	0.050
F7	0.250	0.068	0.059	0.049
F8	0.160	0.068	0.058	0.049
F9	0.123	0.067	0.056	0.044

El área del soporte filtrante (m²) de mayor promedio fue la de los filtros 03, 06 y 07, donde se obtuvo una similitud de 0.250 m², seguido de los filtros 02, 05 y 08 con un valor promedio de 0.160 m². El menor promedio se observó en los filtros 01, 04 y 09, con 0.123 m², como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

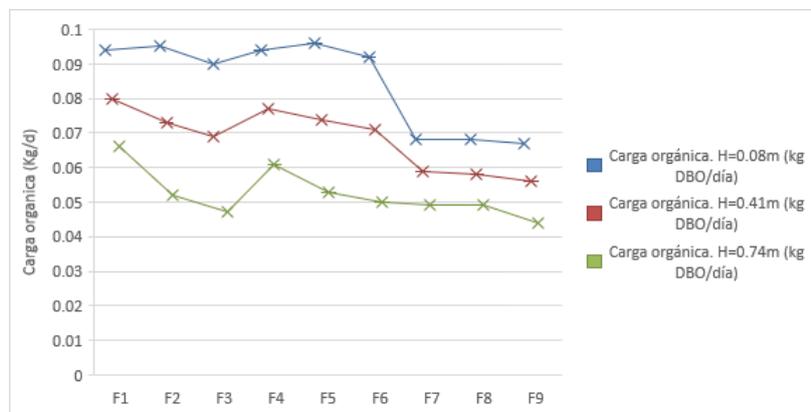
Áreas superficiales de filtros percoladores estudiados (m²)



En la Tabla 5, se muestran los resultados de las cargas orgánicas a diferentes alturas de los filtros percoladores. El efluente de mayor carga orgánica promedio de mayor efecto, a profundidad 0.08 m fue del filtro 05, con 0.096 kg de DBO por día, lo cual indica que la superficie sí contribuye a la efectiva remoción del contaminante. La menor carga fue del filtro 07, con 0.068 kg de DBO por día.

Figura 8

Variación de la carga orgánica en filtros percoladores estudiados de acuerdo a la altura(kg/ d)



En la Figura 8, el efluente que mostró la mayor de carga orgánica promedio entre los filtros a profundidad 0.08 m fue el filtro 05, con 0.096 kg de DBO por día. La menor fue del filtro 09, con 0.067 kg de DBO por día. En los filtros con profundidad de 0.41 m, el filtro 01 presentó mayor carga orgánica, con 0.080 kg de DBO por día. La menor fue del filtro 09, con 0.056 kg de DBO por día, logrando un nivel adecuado de remoción. En el caso de los filtros a profundidad 0.74 m, fue del filtro 01 con 0.066 kg de DBO por día, y la menor fue del filtro 09, con 0.044 kg de DBO por día, logrando identificar la mejor remoción en los tiempos muestreados.

Medidas y registro de formación de biopelículas

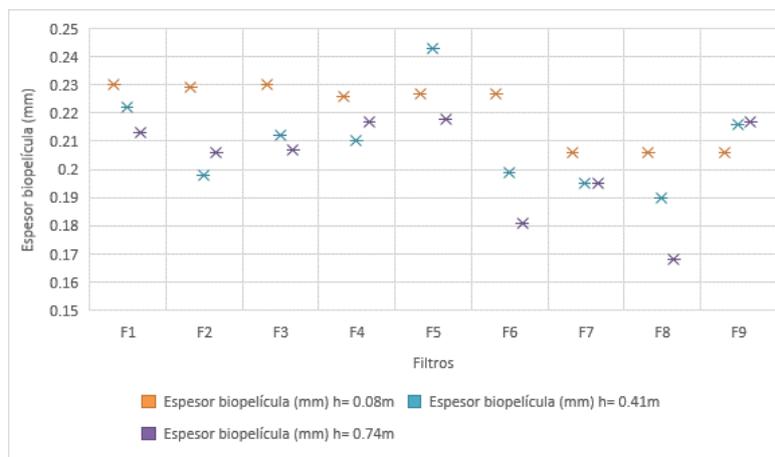
Tabla 6

Mediciones de espesor y formación de biopelículas obtenidos en los filtros percoladores

Filtro	Espesor biopelícula (mm) h= 0.08m	Espesor biopelícula (mm) h= 0.41m	Espesor biopelícula (mm) h= 0.74m
F1	0.230	0.222	0.213
F2	0.229	0.198	0.206
F3	0.230	0.212	0.207
F4	0.226	0.210	0.217
F5	0.227	0.243	0.218
F6	0.227	0.199	0.181
F7	0.206	0.195	0.195
F8	0.206	0.190	0.168
F9	0.206	0.216	0.217

Figura 9

Espesor de la biopelícula en los filtros percoladores estudiados (mm)



De la Tabla 6 y Figura 9, se muestran los datos promedios medidos mediante el software Scopelimage 9.0. Se observa que, la medida de la biopelícula de mayor promedio, a profundidad 0.08 m, fue del filtro 03, con 0.230 mm; la de menor medida fue del filtro 07, con 0.206 mm. En los filtros a profundidad de 0.41 m, el mayor promedio de la biopelícula fue el del filtro 05, con 0.243 mm. El menor fue el del filtro 08, con 0.190 mm. En los filtros a profundidad de 0.74 m, el filtro 05 presentó el mayor promedio de biopelícula, con 0.218 mm, y el de menor fue del filtro 08, con 0.168 mm.

DISCUSIÓN

Se determinó, de acuerdo a los resultados de la carga hidráulica y carga orgánica en el crecimiento de la biopelícula en el soporte filtrante de los filtros percoladores de la localidad de Tuyururi, que en los 09 filtros se tiene un rango de carga hidráulica de $4.109 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ - $1.827 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, y una carga orgánica en un rango de 0.096 kg de DBO por día - 0.044 kg de DBO por día, parámetro que se relaciona con la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua residual con el caudal.

El mayor promedio del espesor entre los filtros a profundidad 0.08 m fue del filtro 03, con 0.230 mm y el filtro 07, con 0.206 mm. A la profundidad de 0.41 m, fue el filtro 05, con 0.243 y el menor fue del filtro 08, con 0.190 mm. A profundidad de 0.74 m, fue el filtro 05, con 0.218 mm y el menor fue del filtro 08, con 0.168mm, considerando que la carga contaminante se degrada por medio de una biopelícula que crece alrededor del medio poroso. Esta biopelícula no debe ser mayor a 3 mm de espesor, ya que la circulación del oxígeno, a espesores mayores, no es la correcta (Bennewitz et al., 2015). En el desarrollo de la investigación, no sobrepasa los 3 mm de espesor, por lo que se dedujo que el sistema tenía una buena oxigenación en el soporte filtrante. Las ventanas de los puntos de muestreo del prototipo ayudan a la ventilación, suministrando el oxígeno suficiente para la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, confirmando que el espesor de la biopelícula de máxima eficiencia ha sido 0.250 mm (Jenkins & Black, 2021).

El espesor es directamente proporcional a la carga orgánica e inversamente proporcional a la carga hidráulica, observándose en los resultados de los filtros de carbón vegetal a comparación del filtro con grava. Esto se debe a que el mayor caudal ocasiona el desprendimiento de trozos de biopelícula que son arrastrados por el agua, generando la pérdida biológica del sistema.

La carga hidráulica, sí afecta el crecimiento de la biopelícula, ya que, si es muy baja, no se moja todo el soporte filtrante; es decir, si no se tiene la tasa mínima de remojo, puede ocasionar la muerte de los microorganismos.

Además, el caudal influye de manera importante en el trabajo de la depuración (Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco, 2009), por lo que se debe controlar para evitar el desprendimiento y/o crecimiento excesivo de la biopelícula en el soporte filtrante en periodos cortos de tiempo.

CONCLUSIONES

La carga hidráulica y carga orgánica sí afectan el crecimiento de la biopelícula del soporte en los filtros percoladores - Tuyururi, obteniendo una carga hidráulica de $4.109 \text{ m}^3/\text{m}^2$ por día y una carga orgánica en un rango de 0.096 kg de DBO por día.

La carga hidráulica afecta de manera importante el desarrollo de la capa biológica, ya que, si no se tiene una tasa mínima de remojo puede causar la muerte de los microorganismos. En caso de que el ingreso de agua sea abundante, puede ocasionar el rompimiento de la biopelícula.

La carga orgánica afecta de manera directa el crecimiento de la capa biológica en el soporte filtrante debido a la materia orgánica presente en el agua residual que queda retenida en la capa biológica, la cual se va degradando por la participación de microorganismos que causan el aumento del espesor. Cuando los microorganismos crecen relacionándose con la alta carga orgánica que se impregna en ella, aumenta la capa biológica, pero disminuye cuando disminuye el crecimiento y el número de microorganismos.

En la identificación, se encontraron diferentes grupos de microorganismos, en especial protozoarios ciliados (*Colpoda*, *Paramecium*, *Oxytricha*, *Euplotes*, *Stentor*), protozoarios flagelados (*Vorticella*, *Euglena*, *Phacus* y *Opisthomonas*), rotíferos (*Lecane* y *Philodina*), Rhizopodos (*Amoeba* sp), suctores (*Suctor*, *Sphaerophya*), heliozoos (*Actinosphaerium*) y nematodos (Nematodo de vida libre).

La presencia de protozoarios ciliados y flagelados se dio desde la primera semana hasta culminar la investigación en la semana 16, resaltando que la cantidad de protozoarios cambia cada semana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Machado, G. y Guerrero Ramírez, S. (2019). *Diagnóstico de infraestructura de saneamiento en el distrito Suyo-Provincia Ayabaca-Piura-Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura].
- Bennewitz, R.; Doris, M.; Fernández-Elgueta, K.; Guzmán-Fierro, V. y Behar-Latorre, J. (2015). Un proceso integrado de digestión anaeróbica y oxidación aeróbica/anaeróbica de amonio y desnitrificación, Snad, para producir biogas a partir de excretas avícolas.
- Bhambore, N. y Suresh Kumar, M. (2022). Municipal solid waste generation, management scenarios, and leachate treatment using sequencing batch biofilter granular reactor. *Process Safety and Environmental Protection*, 167, 454–468. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.09.027>
- Borges, C.; Rojas, B.; Novelo, R.; Rodríguez, J. y Canul, P. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Ingeniería*, 16(2), 83–91.
- Espinosa-Rodríguez, M.; Ruiz-Sánchez, J.; Hidalgo-Millán, A. y Delgado-Delgado, R. (2019a). Efecto de la carga hidráulica de un filtro percolador en el proceso de nitrificación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(1), 107–113.
- Espinosa-Rodríguez, M.; Ruiz-Sánchez, T.; Hidalgo-Millán, A. y Delgado-Delgado, R. (2019b). Efecto de la carga hidráulica de un filtro percolador en el proceso de nitrificación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(1), 107–113.

- Garzón Zúñiga, M.; González Zurita, J. y García Barrios, R. (2016). Evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 199–211.
- Huamán, M.; Rosas, Y. y Depaz, K. (2022). Effect of Hydraulic and Organic Load, in the Removal of Biochemical Oxygen Demand in Wastewater using Biofilter with Vegetable Carbon, in High Andean Climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 973(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/973/1/012002>.
- Isac, L.; Rodríguez, E.; Salas, M.; Fernández, N.; Pérez-Uz, B. y Serrano, S. (1994). *Protozoos en el fango activo*. Universidad Complu-Tense de Madrid, Facultad de Biología.
- Jenkins, G. y Black, K. P. (2021). Modelling the effects of changing loads of nitrogen discharged from a sewage treatment plant on plankton dynamics in a large, urbanised bay. *Regional Studies in Marine Science*, 45, 101825.
- Kornaros, M. y Lyberatos, G. (2006). Biological treatment of wastewaters from a dye manufacturing company using a trickling filter. *Journal of Hazardous Materials*, 136(1), 95–102. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2005.11.018>
- Mahto, K. y Das, S. (2022). Bacterial biofilm and extracellular polymeric substances in the moving bed biofilm reactor for wastewater treatment: A review. *Bioresource Technology*, 345, 126476.
- Morales-Fiallos, F.; Maldonado Narváez, L.; Nuñez-Aldás, G.; Paredes-Cabezas, G. y Hechavarría, R. (2022). Filtro con elementos de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de aguas residuales de lavadoras de autos en la ciudad de Ambato, Ecuador. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 13(5), 365–395. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-05-10>.
- Qu, J.; Wang, H.; Wang, K.; Yu, G.; Ke, B.; Yu, H.; Ren, H.; Zheng, X.; Li, J. y Li, W. (2019). Municipal wastewater treatment in China: Development history and future perspectives. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 13(6), 1–7.
- Rahman, Y.; Cooper, R.; Truong, N.; Ergas, S. y Nachabe, M. (2021). Water quality and hydraulic performance of biochar amended biofilters for management of agricultural runoff. *Chemosphere*, 130978. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130978>.
- Ramalho, R. (2021). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté.
- Reyes-Lara, S. y Reyes-Mazzoco, R. (2009). Efecto de las cargas hidráulica y orgánica sobre la remoción másica de un empaque estructurado en un filtro percolador. *Revista mexicana de ingeniería química*, 8(1), 101-109. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382009000100010&lng=es&tlng=es
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingenieros.
- Sato, T.; Qadir, M.; Yamamoto, S.; Endo, T. y Zahoor, A. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2013.08.007>
- Scott, T. y Fulton, P. (1979). Removal of pollutants in the overland flow (grass filtration) system. *Progress in Water Technology*, 11(4–5).
- Singh, K.; Singh, R.; Rai, B. y Upadhyay, S. (2010). Biofiltration of toluene using wood charcoal as the biofilter media. *Bioresource Technology*, 101(11), 3947–3951. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2010.01.025>.