



Evaluación del comportamiento hidráulico de un filtro aerobio a escala laboratorio en la Sede Alvernia, Campus Universidad Mariana

Viviana Marcela Cuaspud Chamorro¹

Mayerlin Solanyi Ipiales Melo²

Gloria Lucía Cárdenas Calvachi³

Resumen

El tratamiento biológico de aguas residuales con filtros percoladores es una de las alternativas más eficientes, por su menor requerimiento de energía, mantenimiento y buena operatividad, que garantiza altas eficiencias de remoción de contaminantes. Para realizar estudios de optimización del diseño, se requiere prototipos a escala de laboratorio con los que se pueda evaluar aspectos hidrodinámicos como, régimen de mezcla, condiciones de flujo no ideal, tales como cortocircuitos, zonas muertas y, escenarios que pueden afectar el desempeño del reactor. La presente investigación pretende evaluar el comportamiento hidráulico de este reactor biológico, comparando este comportamiento con dos lechos filtrantes plásticos: uno con piezas de tubería corrugada y el otro, con cilindros de filamentos sintéticos.

En el avance de la investigación, como primer objetivo se diseñó un filtro percolador de alta tasa a escala laboratorio de forma circular, con el fin de garantizar una adecuada distribución del fluido. Dentro de su diseño se tuvo en cuenta dos metodologías para su dimensionamiento: una, a partir de la carga orgánica volumétrica y la otra, adoptando una carga hidráulica superficial, según la tasa del filtro, en la cual se pudo evidenciar que, la más apropiada, donde se ajusta las medidas a escala laboratorio para su construcción es, a partir de la primera, indicando un diseño más eficiente.

Palabras clave: tiempo de retención hidráulico; comportamiento hidráulico; lecho filtrante; carga hidráulica superficial; carga orgánica volumétrica; diseño.

¹ Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Ambiental, San Juan de Pasto, Colombia. Correo: vicuaspud@umariana.edu.co

² Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Ambiental, San Juan de Pasto, Colombia. Correo: mayipiales@umariana.edu.co

³ Universidad Mariana, Programa de Ingeniería Ambiental, San Juan de Pasto, Colombia. Correo: glucardenas@umariana.edu.co



Introducción

El tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD) mediante sistemas biológicos como los filtros percoladores, es una de las alternativas más óptimas, por sus ventajas de menor requerimiento de energía, menor necesidad de mantenimiento de equipos, operación más sencilla, alcance de altas eficiencias de remoción que hacen interesante poder implementarlo en pequeños núcleos de comunidades, donde poseen bajos recursos económicos.

Una característica importante a resaltar de este sistema de tratamiento es que, la aireación se efectúa por convección natural; es decir, el aire fluye a través del medio empacado por diferencia de temperaturas entre el ambiente interno del reactor y el externo.

Ahora bien, el diseño de estos sistemas de tratamiento de aguas se fundamenta, principalmente, en los procesos biológicos que tienen lugar en el reactor; pero, adicionalmente, hay eventos hidráulicos tales como, tiempos de residencia, tiempos de mezclado, régimen de flujo, geometría del reactor, que pueden definir el desempeño del equipo, presentando parámetros que hacen posible mejorar la eficiencia de los reactores con un rendimiento hidrodinámico que permita establecer el comportamiento de flujo y la detección de condiciones anómalas (zonas muertas o cortocircuitos) y, con ello, poder garantizar una buena operatividad.

Con lo anterior, se fundamenta la importancia de los aspectos hidrodinámicos que se puede desarrollar en los distintos reactores en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (AR). El objetivo del presente artículo es la evaluación de parámetros hidráulicos para un reactor aerobio de filtro percolador, en el cual se realizará variaciones en el diseño, como lo es, las alturas de dos medios filtrantes de estudio en donde se podrá determinar cuál de estos es más eficiente, hidráulicamente, para estudios a futuro que permitan alcanzar altos niveles de eficiencia de remoción de materia orgánica (MO).

Descripción de la situación actual y formulación del problema

La inexistencia de sistemas de tratamiento biológico para control de contaminación en AR se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos que afronta la humanidad, ya sea por problemas económicos o, debido al limitado conocimiento sobre alternativas viables de bajo costo que ayuden a mejorar la calidad del agua, lo cual, a su vez, trae consigo un alto grado de impacto por contaminación al recurso hídrico, debido al desarrollo de diversas actividades antrópicas que promueven un incremento de sustancias tóxicas, concentraciones de MO, agentes patógenos, afectación a los ecosistemas acuáticos y la salud pública, alterando así, las condiciones de equilibrio en el ecosistema.

Como se sabe, el diseño de sistemas de tratamiento de aguas se fundamenta, esencialmente, en los procesos biológicos que tienen lugar en el reactor, siendo los más utilizados, los reactores de tipo aerobio y anaerobio para el tratamiento de AR de baja y alta carga orgánica; su operación se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la MO y se desarrollan de manera continua, formando lodos biológicamente activos a su interior, siempre y cuando



en esta parte tengan un buen contacto con el AR y un tiempo de permanencia suficiente para alcanzar una eficiencia óptima de remoción (Sánchez y Cardona, 2009).

Adicionalmente, en este tipo de tratamientos hay componentes hidráulicos como: tiempos de residencia, tiempos de mezclado, régimen de flujo, geometría del reactor, que pueden definir el desempeño del equipo, presentando parámetros que pueden mejorar la eficiencia de los reactores.

Ahora bien, en la actualidad, la problemática relacionada con los sistemas implementados para el tratamiento de AR, es ocasionada porque, la mayoría de las veces estos sistemas no están en condiciones óptimas de funcionamiento, dado que el diseño y la operación no son realizados adecuadamente en muchos casos, lo que hace muy importante la evaluación constante de los sistemas de tratamiento de AR, principalmente el comportamiento hidráulico, que es una de las variables fundamentales necesarias en el buen funcionamiento y operatividad de este tipo de tecnologías, para así garantizar el logro de los objetivos técnicos y económicos.

En otros casos, sus diseños son limitados, bajo el supuesto de que el fluido en los reactores tiene un comportamiento ideal, pudiendo ser de tipo pistón o mezcla completa, cuando en la realidad los fluidos no se ajustan exactamente a situaciones ideales, sino que su comportamiento resulta una mezcla de estos dos tipos de modelos de flujo (Levenspiel, 1986).

En el país existen actualmente 562 sistemas instalados en diferentes municipios. Lamentablemente, no todos los sistemas tratan la totalidad del AR producida; se estima que, solo un 10 % de los sistemas construidos tienen un adecuado funcionamiento. La tendencia en cuanto a sistemas de tratamiento de aguas en Colombia es la utilización de tratamientos secundarios, como la construcción de lagunas de estabilización (44 %), sistemas de aireación extendida (9,4 %) y filtros biológicos (7 %) (Acuatécnica S.A.S., 2017).

Además, algunos de los problemas asociados con el mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento, son: a) las tecnologías empleadas no siguen una secuencia lógica de tratamiento; b) muchas plantas están incompletas; c) existe muy poco mantenimiento y control de los procesos que son desarrollados en las plantas y/o, d) solo existe recomendación de los expertos en tecnologías familiares (Guerrero, 2010, citado por Lara-Borrero y Patiño, 2012).

Al mismo tiempo, es esencial resaltar que, el país cuenta con un bajo porcentaje en sistemas de tratamiento biológico, usados para la depuración de estos vertimientos, debido a los requerimientos de grandes inversiones iniciales y, posteriormente, a elevados costos de operación y mantenimiento, fundamentalmente, por los requisitos de consumo energético que representan, la necesidad de adicionar al tratamiento productos químicos y, la exigencia de personal altamente capacitado; de ahí la importancia de diseñar e implementar sistemas de tratamiento eficientes y de bajo costo, que generen resultados óptimos y viables en su funcionamiento y contribuyan a la conservación del recurso hídrico.

A nivel del departamento de Nariño se ha hecho esfuerzos para la construcción de infraestructura necesaria para mitigar la contaminación hídrica; el director general de la Corporación Autónoma regional de Nariño (CORPONARIÑO), a través

de la Resolución No. 1179 de 2017, adoptó el Protocolo para la Presentación y Evaluación de Proyectos de Inversión y Pre Inversión en Descontaminación del Recurso Hídrico, con el cual se benefició a 21 municipios en el proyecto de Plantas de Tratamiento para Aguas Residuales (PTAR).

Respecto al municipio de Pasto, este no cuenta con una PTAR para su sistema de tratamiento, lo que conlleva que todos los vertimientos dados por actividades de la población urbana sean depositados directamente al río Pasto, siendo este afluente, el mayor afectado por las descargas contaminantes.

Bajo esta situación y, en vista de los incipientes sistemas de tratamiento para AR en el contexto regional, así como también, el grado mínimo de investigación en esta área, se ha propuesto implementar un prototipo de filtro percolador anaerobio a escala laboratorio en la sede Alvernia, Campus de la Universidad Mariana, con el objetivo de evaluar el comportamiento hidráulico del mismo, ya que es una variable fundamental de diseño y operación; a su vez, esta propuesta permitirá ampliar el campo de conocimiento en esta área, utilizando una metodología de enseñanza-aprendizaje hacia los estudiantes, para que conozcan, manejen y realicen diferentes prácticas al emplear este tipo de unidades de tratamiento y, así mismo, profundicen el campo de investigación, en busca de nuevas estrategias y proyectos

De igual forma, la importancia de la variable de estudio radica en determinar factores como: tiempos de residencia, tiempos de mezclado, comportamiento del flujo, ya sea pistón, mezcla completa, dispersión, geometría del reactor, así como, los diferentes problemas que lo pueden afectar, entre estos, la presencia de zonas muertas, cortocircuitos, zonas de acumulación de sedimentos que, al presentarse en porcentajes elevados, alteran el desempeño y operatividad del mismo (Sánchez y Cardona, 2009).

Entonces, como ya se mencionó, esta variable influye en el buen funcionamiento de cualquier sistema de tratamiento biológico, ya que de ello depende que el sistema presente una alta eficiencia de remoción de MO, logrando un diseño y operación óptima; de esta manera, el reactor de estudio son los filtros percoladores que poseen una gran funcionalidad en cuanto a la descontaminación del AR, por su adquisición de una capa de microorganismos adherida a un medio permeable que permite alcanzar la eficiencia de remoción de cargas contaminantes (Jaramillo y Paredes, 2019).

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario iniciar con la obtención del caudal con el cual se diseñaría el reactor biológico; para ello se se tuvo en cuenta tres bombas peristálticas de la PTAR dentro del campus Alvernia de la Universidad Mariana, en donde se determinó, para cada, cuatro pruebas a diferentes velocidades, realizando variación de estas durante cinco veces: 50 rpm, 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm y, 400 rpm; estos caudales fueron tomados mediante una manguera con un radio interno de 0.7 mm para mejor precisión en la obtención del criterio; con la toma de estas muestras se escogió el caudal mínimo, que fue de 5,31 ml/s, en vista de que la construcción del filtro es a escala laboratorio, en donde este puede soportar el tipo de caudal y no presentar alteraciones. En la Tabla 1 se puede observar los resultados.



Tabla 1

Obtención de caudal de diseño mediante bombas peristálticas

Bomba peristáltica (rpm)	(1)29812	(2)29815	(3)29814
	Caudal ml/s		
50	5,31	5,58	5,62
100		11,02	10,23
200		20,23	20,20
300		30,13	28,61
400			35,14

Nota: datos obtenidos en medición de caudal.

Con la información de la Tabla 1 se pudo apreciar que, los caudales de las bombas peristálticas son elevados y se requiere cantidades mayores de agua para alimentar el reactor; para ello se procedió a la evacuación de dos lechos filtrantes de un vermifiltro a escala laboratorio, utilizando un caudal de diseño de 0,12m³/día, el cual se ajusta a las condiciones esperadas de funcionamiento.

Este sistema biológico se diseñó específicamente con la carga hidráulica (Tabla 2), en donde se pudo evidenciar que las variables resultado no presentan un ajuste óptimo para su posterior construcción a escala laboratorio; por ende, se optó por utilizar la metodología a partir de carga orgánica volumétrica (COV) (Tabla 3), mostrando unos resultados eficientes y acordes a lo esperado, tanto en su diámetro, como en la altura del medio filtrante y el volumen. El dimensionamiento del sistema se diseñó con estructura circular, con el fin de garantizar una adecuada distribución del fluido en el área superficial, evitando que algunas zonas permanezcan secas. El material a utilizar fue de acrílico, ya que permite observar los medios filtrantes del sistema.

Tabla 2

Dimensionamiento a partir de carga hidráulica

Cálculo a partir de carga hidráulica		
Caudal	0.12	m ³ /d
Carga hidráulica	10	m ³ /m ² *d
Área superficial	0.012	m ²
Diámetro	0.124	m
TRH	1.82	horas
volumen	0.009	m ³
altura reactor	1.02	m
Relación Hlecho/Hreactor	0.743	m/m
Altura lecho	0.7581	m

Nota: la Tabla 2 muestra los cálculos obtenidos a partir de la carga hidráulica.

**Tabla 3**

Dimensionamiento a partir de carga orgánica volumétrica

Cálculo a partir de carga orgánica volumétrica		
Caudal diseño	0.12	m ³ /día
DBO5	0.23	kg/m ³
COV	1.5	kgDBO5/m ³ *día
Volumen	0.018	m ³
Profundidad lecho	0.6	m
Área superficial	0.031	m ²
Diámetro	0.20	m
TRH	3.68	horas
Borde libre	0.27	m
Altura reactor	1.02	m

Nota: la Tabla 3 indica los datos obtenidos a través de la carga orgánica volumétrica

Igualmente, se calculó la eficiencia esperada del reactor biológico (Tabla 4), factor esencial, dado que indica su capacidad de remoción de contaminantes, que depende de un diseño óptimo y una evaluación hidráulica para garantizar altos porcentajes de remoción.

Tabla 4

Eficiencia del reactor biológico

	% Eficiencia	
Factor recirculación	1	
Carga orgánica aplicada	0.028	kg/día
Eficiencia	64.8	%
DBO5 salida	80.897	mg/L

Nota: la Tabla 4 indica el porcentaje de eficiencia

Es importante mencionar que, los medios de soporte escogidos dentro de la investigación (Tabla 5) fueron plásticos, que presentan alta área superficial y porosidad que permite una mayor cantidad de biomasa adherida por unidad de volumen en el material de empaque, a través del cual son filtradas las AR pre-tratadas; el aire pasa por los espacios vacíos del medio, suministrando oxígeno para las reacciones aeróbicas; así, se pretende establecer una comparación entre los dos medios y determinar su eficiencia hidráulica.

Este tipo de empaques debe cumplir con características como: a) el material debe ser de alta superficie específica para prevenir obstrucciones; b) capacidad de eliminar altas cargas de DBO por unidad de volumen; c) capacidad de operar a altas tasas de carga hidráulica; d) una estructura abierta adecuada para evitar obstrucciones



debido al crecimiento de la biomasa y, e) garantizar un adecuado aporte de oxígeno.

Tabla 5

Propiedades físicas de medios filtrantes

<i>Propiedades físicas de los medios filtrantes</i>			
Medio	Tamaño	Área superficial (m²)	Espacios vacíos (%)
Tubería Corrugada 	Altura: 0.20 m Diámetro: 0.0125 m	0.0131	96
cilindros con filamentos sintéticos (rulos de cabello) 	Altura: 0.20 m Diámetro: 15,25mm	12.7	93

Resultados

Para el diseño del sistema de tratamiento biológico se pudo establecer que, de las dos metodologías específicas para filtros percoladores, la que mejor se ajusta a un dimensionamiento óptimo a escala laboratorio es la de COV, en vista de que los datos obtenidos de las variables representan un ajuste viable para la construcción del sistema, puesto que considera factores adicionales, en comparación a la otra metodología propuesta como concentración de DBO₅ y un rango de COV, según la tasa del filtro que, para este estudio, es alta, porque se utiliza medios filtrantes plásticos para evaluar la eficiencia hidráulica del reactor; entonces, dichos factores mostraron un mejor comportamiento.

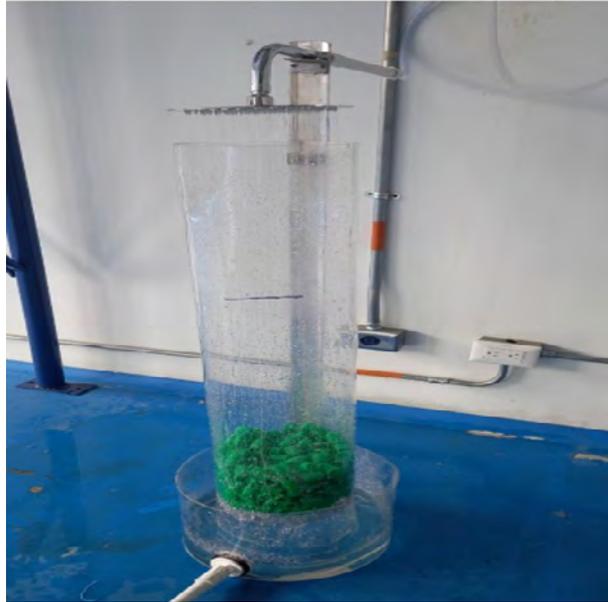
Asimismo, se pudo encontrar en la Tabla 1, que estos medios utilizados presentan características de alta área superficial y porosidad que permite una mayor cantidad de biomasa adherida por unidad de volumen de material de empaque, lo cual es un buen indicador para la evaluación hidráulica del sistema y estudios posteriores en remoción de MO, que garanticen una buena obtención de resultados.

De igual manera, se establece la implementación de un filtro percolador aerobio, teniendo en cuenta los materiales y planos necesarios para su construcción, como se indica en la Figura 1. Finalmente, se procedió a realizar una verificación del funcionamiento del sistema para una mejor precisión, a fin de obtener una eficiencia de herramientas y materiales requeridas en el montaje del filtro biológico, evaluando la operatividad del sistema, para lograr buenos resultados en el análisis de datos.



Figura 1

Reactor biológico aerobio a escala laboratorio



Nota: la Figura 1 indica la implementación del reactor en el campus Alvernia de la Universidad Mariana

Conclusiones parciales

En el diseño del reactor biológico se tuvo en cuenta factores económicos y asequibles a las condiciones del área de estudio, para alcanzar una construcción más rentable, de suerte que se evidencie en el proceso de dimensionamiento, sin que afecte en lo posible, el cumplimiento con la norma, pero considerando dichas condiciones para la construcción.

Con los tipos de medios filtrantes que se utiliza para la evaluación hidráulica del filtro, se busca que estos presenten condiciones óptimas para la formación de biopelícula, garantizando un alto porcentaje de espacios vacíos y, por ende, mayor área superficial para obtener un alto grado de eficiencia en la remoción de contaminantes.

El material escogido presenta características de rigidez, con un espesor medio elaborado a base de acrílico transparente, para mayor facilidad de adecuación del sistema y visibilidad del medio filtrante.



Referencias

- Acuatécnica S.A.S. (2017). ¿Cuántas plantas de tratamiento de aguas residuales hay en Colombia? <https://acuatecnica.com/cuantas-plantas-tratamiento-aguas-residuales-colombia/>
- Jaramillo, A. y Paredes, J. J. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía - Morales, 2018* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1832>
- Lara-Borrero, J. y Patiño, J. M. (2012). Costos de inversión, operación y mantenimiento (O & M) de tratamientos naturales de aguas residuales para pequeñas comunidades en Colombia [Ponencia]. *Conferencia Panamericana en sistemas humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua*. https://www.researchgate.net/publication/282031963_Costos_de_inversion_operacion_y_mantenimiento_O_M_de_tratamientos_naturales_de_aguas_residuales_para_pequenas_comunidades_en_Colombia
- Levenspiel, O. (1986). *Ingeniería de las reacciones químicas*. Editorial Reverté S. A.
- Resolución 1179 de 2017. (2017, 5 de octubre). Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). http://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/resolucion_1179_seleccion_2017.pdf
- Sánchez, J. y Cardona, S. (2009). Evaluación del comportamiento hidráulico de un reactor aerobio y un reactor anaerobio, en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeña escala. *Avances en Recursos Hidráulicos*, (20), 65-79.

