

Evacuación de dos lechos filtrantes en un vermifiltro diseñado a escala laboratorio

Paola Andrea Ortega Guerrero

Docente del Programa Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana

Javier Mateo Portillo Díaz

Oscar David Silva Moreno

Estudiantes del Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana

Resumen

El tratamiento del agua residual es un proceso que requiere un alto costo de inversión y operación, por ello, una tecnológica económica y eficiente para el tratamiento de las aguas residuales es el vermifiltro, el cual incorpora procesos físicos, químicos y biológicos. Este sistema de tratamiento está conformado por distintos lechos filtrantes, tanto orgánicos como inorgánicos, que se encargan de retener y degradar la carga orgánica DBO y DQO. Para la evaluación de estos vermifiltros diseñados a escala laboratorio, se tuvo en cuenta el diseño de experimentos de tipo Unifactorial, que incorpora dos vermifiltros con la variación en un lecho filtrante como son el bagazo de caña y la cáscara de café y, por último, un vermifiltro control, mediante los cuales se trata un agua residual sintética con características típicas de un vertimiento de agua residual doméstica. Finalmente, determinar la remoción de la carga orgánica en los vermifiltros, con el fin de identificar que vermifiltro es el más eficiente en la remoción de la carga contaminante presente en el agua residual.

Palabras clave: bagazo de caña, cascara de café, demanda Bioquímica de Oxígeno y demanda Química de Oxígeno, lombriz *Eisenia Foetida*, tratamiento de aguas residuales, vermifiltro.

Introducción

Las aguas superficiales (...) son las que el hombre utiliza para desarrollar sus funciones básicas (...), desafortunadamente son las que se encuentran más contaminadas debido a que reciben directamente descargas de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento. Muchas corrientes superficiales en el mundo se encuentran en estados avanzados de contaminación y no tienen ningún uso, excepto el de ser receptoras de desechos. (Sierra, 2011, p. 30).

Por lo anterior, es necesario diseñar e implementar mecanismos de control para evitar que se sigan contaminando. De esta manera, surge la necesidad de implementar sistemas de tratamiento para disminuir el riesgo sanitario del agua, contribuyendo con un desarrollo sostenible, que permita la conservación del recurso hídrico. En este trabajo se implementó un tratamiento secundario mediante el diseño de un filtro percolador, el cual tiene como fin realizar una comparación de dos lechos filtrantes (bagazo de caña y cáscara de café), para determinar cuál de estos lechos es más eficiente al remover la carga contaminante del agua residual. Esta estrategia permitirá que el agua tratada pueda ser reutilizada para el riego de cultivos y sobre todo para algunas actividades domésticas, excepto de consumo. También permitirá disminuir la contaminación de este valioso recurso, porque actualmente esta problemática es causada por el desarrollo de distintas actividades antrópicas que ocasionan un incremento de las concentraciones de materia orgánica, nutrientes, sustancias tóxicas y microorganismos, los cuales muchas veces exceden la capacidad de las fuentes receptoras. Este gran problema ha sido influenciado por factores como el crecimiento poblacional, desarrollo económico, las expectativas de consumo modernas, etc., lo cual conlleva a un uso irracional de los recursos naturales, generando nuevas problemáticas ambientales, que afectan directamente a la salud y la calidad de vida de las personas (Rodríguez y Morales Novelo, 2000).

Además, la gran mayoría de patógenos presentes en estas aguas pueden ser removidos al implementar técnicas de

tratamiento; dichas técnicas se clasifican en tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Los tratamientos primarios son los que incorporan procesos físicos encargados de la remoción de sólidos sedimentables y DBO en suspensión; en los tratamientos secundarios se realizan procesos que tienen el objetivo de remover la materia orgánica en disolución y en estado coloidal, sólidos no sedimentables y patógenos; por último, en los tratamientos terciarios se realizan procesos para la remoción de contaminantes específicos presentes en el agua residual como nutrientes, metales pesados, y compuestos no biodegradables (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Metodología

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario seguir un protocolo de adaptación de las lombrices en los distintos sustratos orgánicos. Primero que todo se procedió a realizar un cultivo de la lombriz *Eisenia Foetida*, haciendo uso de un invernadero que permitiera mantener las condiciones óptimas de temperatura y humedad, con el fin de facilitar el proceso de adaptación y reproducción en cada uno de los sustratos utilizados y así garantizar un rápido crecimiento.

En este cultivo se implementó residuos orgánicos como el bagazo de la caña de azúcar y la cáscara de café; para ello fue necesario seguir las recomendaciones de Corponariño, una de ellas es que las medidas de la lombricompostera deben tener un ancho de 1 m y un alto de 0.4 a 0.5 m para emplear una capa de sustrato de 0.2 m aproximadamente. La siembra de las lombrices se realiza siempre y cuando las condiciones de pH, temperatura y humedad sean apropiadas. Además, el sustrato debe estar bien fraccionado y maduro antes de aplicarse en la cama, es importante que el sustrato orgánico utilizado no se compre para que permita una aireación constante (Corporación Autónoma Regional de Nariño [Corponariño], s.f.).

Una vez obtenidos los organismos en las diferentes lombricomposteras, se implementaron a los vermifiltros, para someterlos a un proceso de adaptación con el agua residual y así degraden la carga orgánica. Este sistema de vermifiltración se diseñó específicamente con la carga orgánica y con la carga hidráulica (ver Tabla 1); el dimensionamiento del sistema se diseñó con estructura rectangular, cuyo fin es garantizar que toda el área superficial sea mojada, evitando zonas secas, principalmente por la baja velocidad de distribución.

Tabla 1. Dimensiones vermifiltro

Diseño vermifiltro		
DBO5	0,10	kg/m3
Caudal de aguas residuales	0,12	m3/día
Dimensionamiento vermifiltro		
DBO requerida en el efluente	0,019	kg/m3
Eficiencia del filtro €	89,0%	
Carga de DBO (W)	0,018	KgDBO/día
Constante de trazabilidad	2,750	(md)^(-0,5)
Caudal de recirculación (R)	0	m3/día
Factor de recirculación (F)	1	—
Volumen del filtro	0,231	m3
Profundidad del medio filtrante (H):	1	m
Área del filtro (A):	0,231	m2
Tasa de aplicación superficial (TAS)	1,00	m3/(m2.día)
Carga orgánica (CV)	0,08	KgDBO/(m3.d)
Dimensiones mínimas		
Filtro rectangular		
Largo del filtro (l):	0,48	m
Ancho del filtro (a):	0,48	M

El estrato superior del filtro contiene una gran cantidad de lombrices y microorganismos encargados de degradar la materia orgánica presente en el agua residual doméstica, además, contiene los sustratos orgánicos del beneficio del café y de la caña de azúcar, seguido de los lechos como la antracita, grava gruesa y delgada. Los filtros implementados en esta investigación fueron diseñados según la Resolución 330 "requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de

la infraestructura” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017, s.p.). Teniendo en cuenta que los vermifiltros se caracterizan por ser filtros percoladores de baja tasa, donde su dimensionamiento se obtuvo a partir de los criterios de diseño recomendados en la Resolución 330, posteriormente, las dimensiones obtenidas fueron verificadas y corregidas según la investigación realizada por Cardoso, Ramírez y Garzón (2013), en la cual describe de manera detallada el diseño de un vermifiltro a escala laboratorio. A continuación, en la Tabla 2 se presenta las alturas de los lechos filtrantes que se determinaron con la altura total del filtro.

Tabla 2. Alturas de lechos filtrantes

Alturas de lechos filtrantes			
Lecho	%	Formula	Altura (m)
Lombrices + bagazo de caña/cáscara de café	40	$(40\% \cdot 1.2\text{m})/100\%$	0,48
Aserrín/bagazo /cáscara de café	10	$(10\% \cdot 1.2\text{m})/100\%$	0,12
Antracita	25	$(25\% \cdot 1.2\text{m})/100\%$	0,3
Grava gruesa y delgada	25	$(25\% \cdot 1.2\text{m})/100\%$	0,3
Total	100	-	1,2

Los vermifiltros construidos fueron colocados en paralelo con el fin de evaluar cada tratamiento por separado en las mismas condiciones. La alimentación del filtro fue con un sistema de distribución conectado a un tanque homogeneizador del agua residual, lo cual permitió un transporte por gravedad, como se indica en las Figuras 1 y 2.

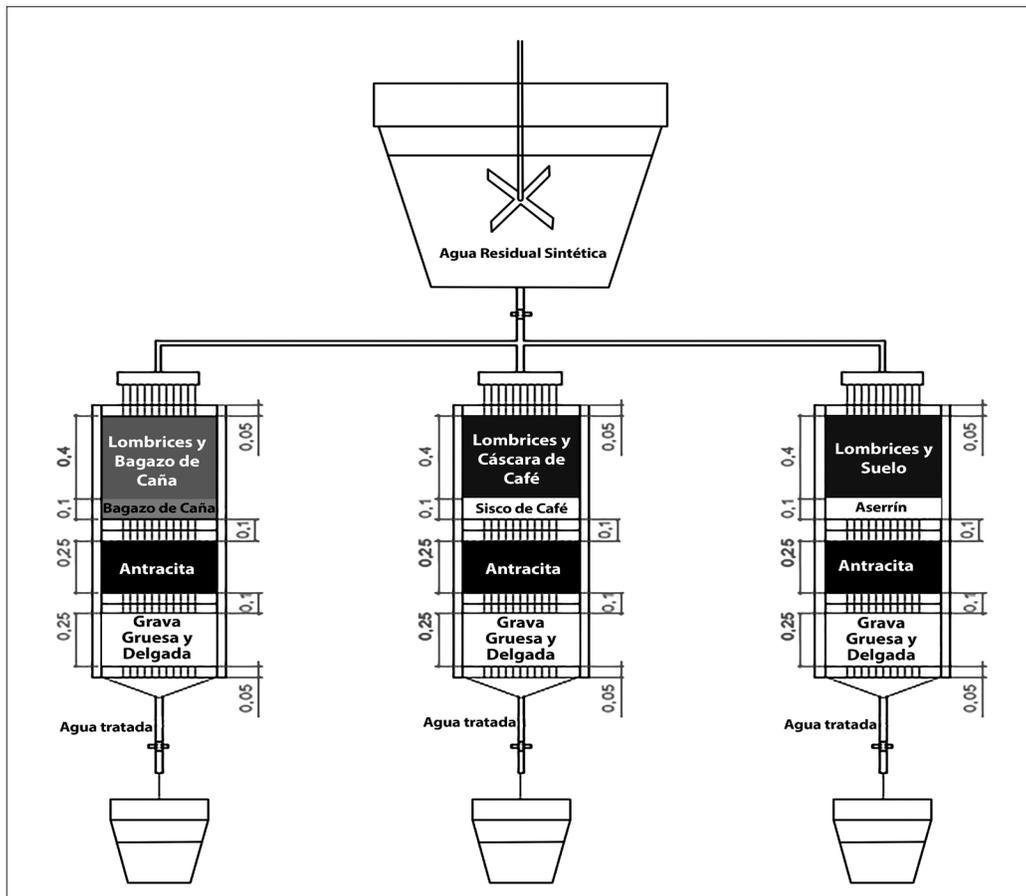


Figura 1. Diseño del prototipo del vermifiltro.



Figura 2. Sistemas de vermifiltración.

Para la caracterización del agua residual del afluente y el agua tratada efluente se tuvo en cuenta varios métodos,

con el fin de realizar el análisis de los respectivos parámetros fisicoquímicos, como indicadores de la calidad del agua, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con el método de refluo abierto con dicromato, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) con el método yodométrico, Sólidos Totales (SST) con el método gravimétrico, pH con el método del electrodo, conductividad con el método del electrodo, y turbiedad con el método turbidímetro.

Resultados

Los vermifiltros fueron expuestos al sustrato del agua residual durante 5 días para su aclimatación, durante este periodo de tiempo la concentración de materia orgánica medida como DQO se incrementó con respecto a la concentración inicial del afluente. Una vez alcanzada la concentración final de la materia orgánica contenida en el efluente, se procedió a evaluar el proceso durante 4 días, realizando una toma de muestras cada 24 horas de los siguientes parámetros: DQO y DBO. A continuación, se muestra el comportamiento de los parámetros de DBO y DQO en el afluente y efluente para cada vermifiltro de estudio (bagazo de caña, cáscara de café y de control).

Tabla 3. Evaluación vermifiltro bagazo de caña

Muestra	Vermifiltro de bagazo de caña					
	Afluente		Efluente			
	DBO	DQO	DBO	DQO	%R DBO	%R DQO
M1	102,10	180,00	61,31	296,44	39,95	-64,69
M2	101,40	181,50	59,05	267,31	41,77	-47,28
M3	104,20	183,70	53,61	241,58	48,55	-31,51
M4	105,10	185,40	50,33	213,75	52,11	-15,29
M5	101,00	180,00	43,30	204,75	57,13	-13,75
M6	101,80	187,20	40,67	166,53	60,05	11,04
M7	105,90	182,00	41,88	133,35	60,45	26,73
M8	103,10	184,00	37,82	108,85	63,32	40,84
M9	105,90	180,00	40,22	100,37	62,02	44,24

De acuerdo a la Tabla 3, se observa como la DBO tiende a disminuir conforme pasan los días de evaluación, comenzando en una concentración inicial de 61,30 mg/l a una concentración final de 40,22 mg/l, alcanzando un porcentaje de remoción hasta del 62,02 %. Se observa igualmente, que en los 5 primeros días se presenta una mayor disminución en el parámetro de DQO,

posterior a dichos días la DBO tiende sufrir cambios muy pequeños. Asimismo, el parámetro DQO tiende a disminuir progresivamente, comenzando en una concentración elevada de 296,44 mg/l, la cual sobrepasa la concentración de la DQO del afluente hasta una concentración final de 100,37 mg/l, alcanzando una eficiencia de remoción del 44,24 %.

Tabla 4. Evaluación vermifiltro cáscara de café

Vermifiltro de cáscara de café						
Muestra	Afluente		Efluente			
	DBO	DQO	DBO	DQO	%R DBO	%R DQO
M1	102,10	180,00	53,55	296,80	47,55	-64,89
M2	101,40	181,50	48,91	268,15	51,77	-47,74
M3	104,20	183,70	40,06	241,84	61,55	-31,65
M4	105,10	185,40	35,62	213,88	66,11	-15,36
M5	101,00	180,00	33,20	183,58	67,13	-1,99
M6	101,80	187,20	26,42	158,09	74,05	15,55
M7	105,90	182,00	31,29	144,22	70,45	20,76
M8	103,10	184,00	26,48	112,13	74,32	39,06
M9	105,90	180,00	26,45	76,99	75,02	57,23

Según la Tabla 4, se observa como el parámetro de la DBO presenta una concentración inicial menor (53,55 mg/l) en comparación con el presentado en el vermifiltro del bagazo de caña, lo cual indica un mejor comportamiento del sistema en la remoción de la carga orgánica. Esta concentración, al pasar los días, continúa disminuyendo significativamente hasta llegar a una concentración de 26,45 mg/l, posterior a este día tiende a disminuir, pero

a una menor escala que en los primeros 5 días. Además, la DQO tiende a disminuir progresivamente conforme pasan los días, comenzando en una concentración elevada de 296,80 mg/l, sobrepasando la concentración inicial del afluente, sin embargo, conforme pasan los días de evaluación, esta concentración disminuye rápidamente hasta alcanzar una concentración mínima de 76,99 mg/l.

Tabla 5. Evaluación vermifiltro control

Vermifiltro de control						
Muestra	Afluente		Efluente			
	DBO	DQO	DBO	DQO	%R DBO	%R DQO
M1	102,10	180,00	48,45	266,02	52,55	-47,79
M2	101,40	181,50	48,91	251,58	51,77	-38,61
M3	104,20	183,70	43,19	223,51	58,55	-21,67
M4	105,10	185,40	39,82	206,26	62,11	-11,25
M5	101,00	180,00	38,55	197,03	61,83	-9,46

M6	101,80	187,20	36,60	176,27	64,05	5,84
M7	105,90	182,00	39,17	148,31	63,01	18,51
M8	103,10	184,00	34,72	136,01	66,32	26,08
M9	105,90	180,00	34,40	91,78	67,52	49,01

De acuerdo a la Tabla 5, se observa que la DBO alcanza una concentración inicial de evaluación de 48,45 mg/l hasta llegar a una concentración final de 34,40 mg/l; en los últimos dos días de evaluación se observa que en la concentración de DBO su disminución es mínima y tiende a estabilizarse. De acuerdo a las Tablas 3, 4 y 5, se evidencia que los vermifiltros en los primeros días presentan un alto contenido de DQO en el efluente, esto es causado porque los vermifiltros se encuentran en una etapa de lavado, donde la antracita desprende color, generando un aumento en la carga inorgánica del agua residual. Posteriormente, se evidencia un aumento progresivo en la eficiencia de remoción de DQO de los 3 vermifiltros conforme pasan los días. Un hecho similar ocurre en la investigación realizada por Reyes (2016), en la cual al momento de realizar la evaluación de la carga orgánica existió un aumento en la concentración de DQO, pasando de 3.650 mg/l en el efluente con respecto a los 583 mg/l del afluente, debido a la descomposición de la materia orgánica donde existe liberación de energía. Si bien la eficiencia de DQO presenta valores bajos de eficiencia, las gráficas de los 3 vermifiltros presentan tendencias de que ocurra un mayor porcentaje de remoción de DQO.

Conclusiones

Los vermifiltros construidos con sustratos orgánicos, que son fácilmente degradables en el proceso de lombricompostaje por acción de lombriz *Eisenia Foetida*, tienen una mayor eficiencia, porque las lombrices se reproducen rápidamente aumentando la población de organismos encargados de degradar la carga orgánica presente en el agua residual.

Comparando los tres tratamientos, se pudo comprobar que el vermifiltro que incorpora la cáscara de café ofreció mayores remociones desde el principio de la experimentación, debido a que concluye la acción combinada del medio filtrante, lombrices de tierra y la cascarilla de café, que permiten mayores reducciones de parámetros contaminantes en el agua residual.

En el presente trabajo de investigación se demostró que, el vermifiltro que incorpora cáscara de café como medio de soporte y de filtración se caracteriza por ser la mejor

opción para el tratamiento de ARD, en comparación con el vermifiltro que incorpora bagazo de caña y el vermifiltro control.

Referencias

- Cardoso, L., Ramírez, E. y Garzón, M. (2013). Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas INAGBI*, 5(2), 33-44. doi: 10.5154/r.inagbi.2013.10.003
- Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño). (s.f.). Sistema de tratamiento para aguas residuales industriales de trapiches paneleros. Un aporte al conocimiento y el desarrollo sostenible. Recuperado de <http://corponarino.gov.co/expedientes/calidadambiental/cartillacompletapanela.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000. Recuperado de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -Resolución 0330. RAS 2017. Recuperado de http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=legcol&document=legcol_12c6ce-75fa364625a48adee57602cea1
- Reyes, J. (2016). Determinación de la eficiencia del aserrín y fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque Universidad Tecnológica Equinoccial*, 7(3), 41-56.
- Rodríguez, L. y Morales, J. (2000). La aplicación de instrumentos económicos para disminuir la contaminación del agua: experiencias en el uso de cuotas por descargas de aguas residuales. *Análisis económico*, XV(31), 111-135.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín-Ediciones de la U.