

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE PARÁMETROS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DE  
VERMIFILTROS A ESCALA LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

CRISTIAN MAURICIO LARGO CASTAÑEDA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
MANIZALES- CALDAS

2022

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	6
<b>3. RESUMEN</b> .....	7
<b>3.1 ABSTRACT</b> .....	7
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	8
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	8
<b>5.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	8
<b>5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	8
<b>6. METODOLOGÍA</b> .....	9
<b>6.1 OBJETIVO 1:</b> .....	9
<b>6.2 OBJETIVO 2:</b> .....	23
<b>6.3 OBJETIVO 3:</b> .....	27
<b>6.3.1 DISEÑO DEL REACTOR</b> .....	32
<b>7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b> .....	36
<b>8. ANALISIS Y DISCUSIÓN</b> .....	37
<b>8.1 OBJETIVO 1.</b> .....	37
<b>8.2 OBJETIVO 2.</b> .....	37
<b>8.3 OBJETIVO 3.</b> .....	38
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	40
<b>10. ANEXOS</b> .....	41
<b>11. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	90

## ÍNDICE DE GRÁFICAS E IMÁGENES

<b>GRÁFICA 1</b> Cinética de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).....	31
<b>GRÁFICA 2</b> Cinética de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	31
<b>GRÁFICA 3</b> Cinética de Sólidos Suspendedos Totales (SST).....	32
<b>IMAGEN 1</b> Diseño de vermifiltro a escala laboratorio.....	33
<b>IMAGEN 2</b> Tipos de medio en vermifiltro a escala laboratorio.....	34
<b>IMAGEN 3</b> Vermifiltro a escala laboratorio exterior.....	34
<b>IMAGEN 4</b> Vermifiltro a escala laboratorio interior.....	35

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1</b> Revisión bibliográfica de los diferentes estudios de vermifiltración recolectado en literatura escrita en idioma español e inglés .....	9
<b>TABLA 2</b> Evaluación de criterios a partir de la metodología implementada.....	<b>2;Error! Marcador no definido.</b>
<b>TABLA 3</b> Documentos preseleccionados y puntaje asignado.....	<b>2;Error! Marcador no definido.</b>
<b>TABLA 4</b> Indicadores calculados para la identificación de vacíos u oportunidades de investigación.....	26
<b>TABLA 5</b> Análisis de datos obtenidos en las revisiones bibliográficas de cinco artículos de referencia .....	27
<b>TABLA 6</b> Cronograma de actividades.....	36
<b>TABLA 7</b> Ficha bibliográfica .....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
<b>TABLA 8</b> Ficha bibliográfica .....	42
<b>TABLA 9</b> Ficha bibliográfica .....	44
<b>TABLA 10</b> Ficha bibliográfica .....	45
<b>TABLA 11</b> Ficha bibliográfica .....	46
<b>TABLA 12</b> Ficha bibliográfica .....	48
<b>TABLA 13</b> Ficha bibliográfica .....	49
<b>TABLA 14</b> Ficha bibliográfica .....	51
<b>TABLA 15</b> Ficha bibliográfica .....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
<b>TABLA 16</b> Ficha bibliográfica .....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
<b>TABLA 17</b> Ficha bibliográfica .....	<b>;Error! Marcador no definido.</b>
<b>TABLA 18</b> Ficha bibliográfica .....	58
<b>TABLA 19</b> Ficha bibliográfica .....	59
<b>TABLA 20</b> Ficha bibliográfica .....	60
<b>TABLA 21</b> Ficha bibliográfica .....	62
<b>TABLA 22</b> Ficha bibliográfica .....	<b>6;Error! Marcador no definido.</b>
<b>TABLA 23</b> Ficha bibliográfica .....	65
<b>TABLA 24</b> Ficha bibliográfica .....	66
<b>TABLA 25</b> Ficha bibliográfica .....	67

<b>TABLA 26</b> Ficha bibliográfica .....	69
<b>TABLA 27</b> Ficha bibliográfica .....	70
<b>TABLA 28</b> Ficha bibliográfica .....	70
<b>TABLA 29</b> Ficha bibliográfica .....	72
<b>TABLA 30</b> Ficha bibliográfica .....	<b>7;Error! Marcador no definido.</b>
<b>TABLA 31</b> Ficha bibliográfica .....	74
<b>TABLA 32</b> Ficha bibliográfica .....	75
<b>TABLA 33</b> Ficha bibliográfica .....	76
<b>TABLA 34</b> Ficha bibliográfica .....	77
<b>TABLA 35</b> Ficha bibliográfica .....	78
<b>TABLA 36</b> Ficha bibliográfica .....	79
<b>TABLA 37</b> Ficha bibliográfica .....	80
<b>TABLA 38</b> Ficha bibliográfica .....	81
<b>TABLA 39</b> Ficha bibliográfica .....	82
<b>TABLA 40</b> Ficha bibliográfica .....	83
<b>TABLA 41</b> Ficha bibliográfica .....	84
<b>TABLA 42</b> Ficha bibliográfica .....	85
<b>TABLA 43</b> Ficha bibliográfica .....	86
<b>TABLA 44</b> Ficha bibliográfica .....	87
<b>TABLA 45</b> Ficha bibliográfica .....	87
<b>TABLA 46</b> Ficha bibliográfica .....	88

## 1. INTRODUCCIÓN

La vermifiltración es un sistema de percolación con un medio filtrante orgánico que contiene lombrices y microorganismos degradadores. Las lombrices tienen un doble papel como aeradores y como pequeños biodigestores. Debido a su labor de aeración provoca un florecimiento de microorganismos aerobios que en simbiosis con las lombrices van a permitir la degradación de la materia orgánica que es retenida en el material filtrante. Actúan como pequeños biodigestores ya que ellas consumen materia orgánica, que pasa a través de su boca, estómago e intestino donde se llevan a cabo reacciones fisicoquímicas gracias a la acción de enzimas, ácidos digestivos y microorganismos que se encuentra a lo largo de su tracto digestivo. En el medio filtrante se llevan a cabo acciones físicas de sedimentación y retención de material orgánico por absorción y adsorción, creándose una biopelícula donde crecen los microorganismos aerobios. El humus de lombriz y el material filtrante que puede ser removido en el biofiltro posteriormente pueden ser usados en la jardinería o agricultura directamente porque es un material estabilizado, con alto contenido de nutrientes. Los vermifiltros son estructuras muy económicas que se pueden construir en ladrillo u hormigón armado u otro material disponible en la región por lo que es una tecnología de bajo costo y sustentable. (Lina Cardoso Vigueros, y otros, 2011)

La propuesta del vermifiltro a escala laboratorio, describe un sistema de tratamiento de aguas residuales en humus de lombriz que incluye un tanque de almacenamiento para recibir y procesar las aguas negras, un tanque de tratamiento para asegurar un pH óptimo, porcentaje de sólidos y conductividad eléctrica del agua residual conectado al tanque de almacenamiento por un medio de sistema de tuberías, un depósito para calentar o enfriar el agua residual según sea necesario conectado al tanque de tratamiento por un segundo sistema de tuberías, un aparato de distribución del agua hacia un entorno vermicular. (Cardoso, Ramírez, & Garzón, 2010)

El presente trabajo consiste principalmente en aplicar la metodología de revisión que permite identificar si hay vacíos o, por el contrario, se puede tomar una decisión “coherente” que permita una investigación posterior con criterio, basado en el procedimiento desarrollado por autores como M. A. Jurado y C.A. Ramírez. Para ello inicialmente se realiza la recolección de literatura acerca de la vermifiltración y estudios realizados para evaluar la efectividad de implementar esta nueva biotecnología, en ellos se investigan parámetros como los tiempos de retención hidráulicos, cargas hidráulicas, parámetros fisicoquímicos evaluados, entre otros. A partir de 4 criterios seleccionados se evalúan las 40 bibliografías consultadas y se toma una decisión en base los resultados obtenidos. Finalmente se realiza el diseño de un vermifiltro a escala laboratorio para aguas residuales domésticas, que sirva para una futura investigación más robusta.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una de las grandes problemáticas ambientales que enfrenta el mundo actualmente es el mal manejo y tratamiento de las aguas residuales. Esto trae consigo problemas de salud pública y medioambiental, abriendo una brecha entre la calidad de vida de las personas y las dificultades ambientales de contaminación hídrica.

Según informes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el año 2017, cifras revelan que un 80% de las aguas residuales o aguas negras, a nivel mundial son vertidas al ambiente sin un tratamiento previo. Estas aguas son el resultado de actividades económicas, industriales y domésticas, compuestas por altos índices de organismos patógenos y contaminantes, productores de grandes enfermedades a nivel mundial como fiebre tifoidea, hepatitis infecciosa, la poliomielitis, la criptosporidiosis, las enfermedades diarreicas, entre otras, que según el Programa para las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), más de 323 millones de personas en América latina, África y Asia son población vulnerable de padecer esta clase de enfermedades por el deterioro en el recurso hídrico por contaminación. (El País, 2017)

Si analizamos el caso de Colombia, es común ver que en las distintas ciudades, los vertimientos de las aguas residuales se hacen a los cuerpos de aguas más cercanos, sin ningún tratamiento previo, con la excusa de carencias en los recursos económicos, falta de gestión ambiental de parte de los gobiernos o simplemente escasas de educación ambiental ciudadana (Quintero, 2016). Para corregir un poco el daño ocasionado por vertimientos a las fuentes hídricas, el Sistema Nacional Ambiental (SINA), bajo la Resolución 631 de 2015 *“establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”*. Dentro de la que se destacan aguas residuales domésticas, aguas residuales no domésticas, que son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios, etc.

Pero el problema aún no se combate de raíz, pues a pesar de los acuerdos con la Política Nacional del Recurso Hídrico (PNGIRH), en la mayoría de municipios colombianos, principalmente de la zona andina, se siguen realizando vertimientos de aguas residuales directamente a los cuerpos de agua ubicados dentro del perímetro urbano. Inclusive, a escala nacional. La PNGIRH afirma que tan solo el 24,92% de las aguas residuales municipales producidas en el 2010 recibieron algún tipo de tratamiento, dejando así el 75,08% de las aguas vertidas sin ningún procedimiento, lo que indica que la contaminación hídrica aún es muy alta y se convierte en una gran problemática social (García, 2016). Por lo que se sugiere realizar un pre tratamiento a las aguas residuales antes de ser vertidas a los afluentes, ya que estos ayudan a la reducción de concentración de aceites, grasas y sólidos en suspensión.

### **3. RESUMEN**

En el presente proyecto se pretende realizar una revisión sistemática de parámetros de diseño y operación de tratamientos de aguas residuales domésticas usando vermifiltros a escala laboratorio. Para esto, se requiere una revisión bibliográfica de 40 artículos, divididos en 20 en español, y 20 en inglés. Se evaluarán parámetros como porcentaje de remoción, tipo de anélido oligoqueto, espesores de los medios y tiempo de residencia. Estos se someterán a una metodología de revisión que permitirá identificar si hay vacíos o, por el contrario, se puede tomar una decisión “coherente” que permita una investigación posterior con criterio. Finalmente, se diseñará un reactor a escala laboratorio según los parámetros, cinéticas y medios más usados encontrados en la revisión bibliográfica.

#### **3.1 ABSTRACT**

The aim of this project is to carry out a systematic review of parameters for the design and operation of domestic wastewater treatment using laboratory-scale vermifiltres. For this, a bibliographic review of 40 articles is required, divided into 20 in Spanish and 20 in English. Parameters will be evaluated as percentage of removal, type of oligochaete annelid, media thickness and residence time. These will be subject to a review methodology that will make it possible to identify if there are gaps or, on the contrary, a "coherent" decision can be made that allows a further investigation with judgment. Finally, a laboratory-scale reactor will be designed according to the parameters, kinetics and most commonly used media found in the literature review.

#### **4. HIPÓTESIS**

- ¿CUÁL SERÁ LA EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS USANDO VERMIFILTROS?
- ¿QUÉ TAN FACTIBLE SERÁ IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE VERMIFILTRO EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES?

#### **5. OBJETIVOS**

##### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

- Hacer una revisión sistemática de parámetros de diseño y operación de tratamientos de aguas residuales domesticas usando vermifiltros a escala laboratorio.

##### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una revisión acerca del modelo de diseño, construcción y operación de un vermifiltro a escala laboratorio usando aguas residuales domésticas.
- Sistematizar la información consultada tomando como variable de respuesta el porcentaje de remoción, tipo de anélido oligoqueto, espesores de los medios y tiempo de residencia
- Plantear un diseño de un vermifiltro a escala laboratorio que pueda ser implementado en Universidad Católica de Manizales



## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 OBJETIVO 1:

- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Nombre del artículo	Escala	Tipo de agua	Volumen del reactor	Tipos de medio	Parámetros fisicoquímicos	Carga Hidráulica	Tiempo de retención Hidráulico	Eficiencia	Referencia bibliográfica
Vermifiltros para el tratamiento de aguas residuales	Laboratorio	Aguas residuales domésticas	64m x 25,135m	Suelo y lombrices, grava y arena	Turbidez, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, nitrógeno total, fósforo, DQO y DBO5	540 ml/h	3-4 horas	96%	(Andrade, 2015)
Vermifiltración para tratamiento de aguas residuales industriales y municipales	Piloto	Aguas residuales industriales	0,55m x 1,1m	Vermicomposta, viruta, tezontle y grava.	DQO, nutrientes, pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto	2.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> •d	6 a 9 horas	DQO de 80 % a 86 %, DBO5 de 90 % a 98 %, SS de 95 % a 98 % y NH3-N de 30 % a 60 %	(Cardoso, Ramírez, & Garzón, 2011)
Evacuación de dos lechos filtrantes en un	Laboratorio	Agua residual doméstica.	1m <sup>3</sup> x 0,231 m <sup>3</sup>	Medio filtrante, lombrice	DQO, DBO, SST, pH,	0,12 m <sup>3</sup> /día	5 días	44,24 %.	(Guerrero, Díaz, &

vermifiltro diseñado a escala laboratorio.				s de tierra y la cascarilla de café	conductividad y turbiedad.				Moreno, 2020)
Preparación y composición de agua residual sintética para ser alimentada en vermifiltros a escala laboratorio.	Laboratorio	Agua residual doméstica	7 L	filtros aerobios en medio sintéticos reciclable	DBO, DQO, sólidos totales, sólidos fijos y sólidos	7-9 l/s	21 días	85%	(Moreno & Díaz, 2018)
Estudio de viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema tohá (lombrifiltro) para el tratamiento de las aguas residuales en el municipio de Tinjacá- Boyacá	Laboratorio	Agua residual doméstica	117m <sup>2</sup> x 1,70 m <sup>2</sup>	Tierra con lombrices, aserrín y grava	DQO, DBO, SST Y STD.	245 m <sup>3</sup> / día	3 a 4 horas.	20%, 6%, 10%, 6% más eficiente en remoción de DBO, DQO, SST, STD	(CASTELLANOS, 2019)
Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltros en	Escala de campo	Agua residual de producción cárnica	0,42 m x 0,9 m	Piedra pómez, piedra bola,	DQO, pH, Conductividad eléctrica, Turbidez,	2,5 l/s	4-5 horas	96,27% de DQO, 64,01% en la	(FLORES, 2019)

el tratamiento de aguas residuales del camal de Ibarra	aplicable			grava, aserrín y viruta, y suelo de granja.	Color, Sólidos Totales y Ácidos Húmicos			remoción de Sólidos Totales	
Remoción de materia orgánica y toxicidad de aguas residuales de la industria cosmético - farmacéutica con un vermifiltro.	Escala piloto	Agua residual industrial	199,4 m x 47,5 m	Vermicomposta, tierra, viruta, tezontle y grava.	DQO, (SST), (SSV), (N-NH <sub>3</sub> ), (N-NO <sub>3</sub> ), (N-NO <sub>2</sub> ) y toxicidad	6 L/d	11 a 20 horas	DQO (84-98%) y N-NH <sub>3</sub> (84-97%).	(DACAS A, 2012)
Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.	Escala laboratorio.	Aguas residuales domésticas	80cm x 75cm x 50cm	Vermicomposta, aserrín, grava, piedra bola y Polipropileno	DBO5, DQO, pH, CE, SST, SDT, turbiedad, potencial redox y temperatura	0.012 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h	4h58min, 7h 3min y 9h 2min	94.5% de DBO5, 94.8% de DQO, 85% SST y 62.4 de TDS	(Barragan Ponce, R., & Espinoza Fernandez, A. M. 2019)
Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales	Escala laboratorio.	Agua residual sanitaria.	Volumen de 0.26 m <sup>3</sup> y área superficial	Vermicomposta y tezontle	(DQO), (DBO5), (SST), (N-total), N-NH <sub>4</sub> , N-NO <sub>2</sub> y N-	100 mL <sup>-1</sup>	0.23 días	92 % DQO, 99 % DBO, 97 % SST)	(Cardoso, Ramírez, & Garzón, 2011)

			al de 0.24 m <sup>2</sup>		NO3 y (P- total).				
Análisis de la fibra de coco como material filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos “Izurieta” ubicada en el Cantón Cevallos provincia de Tungurahua.	Escala laboratorio.	Agua residual Industrial	39 L	Vermicomposta y fibra de coco	pH, la turbidez, el DBO5, el DQO, el TPH, el SST y los Sólidos totales	2,41 m <sup>3</sup> /d	5,55 horas	53.53%	(Franco, 2017 )
Efectos de eisenia Foetida y Eichhornia Crassipes en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos.	Escala laboratorio.	Agua residual Domestica	250L	Grava gruesa y fina, aserrín y tierra con E. foetida	ST), (SST), Turbidez, (DQO) y (DQO), Nitrógeno Total y Fosfatos; coliformes totales y <i>E. coli</i> ; temperatura, Oxígeno Disuelto (OD) y pH.	0,125L/min,	24h	Del 97,31 y 100%	(Mendoza & Molina, 2016)

La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias	Escala real	Aguas residuales sanitarias	30 m <sup>2</sup> .	Vermicomposta, virutas de madera y fibras orgánicas	DQO <sub>5</sub> , SST, P, NTK, coliformes y N-NH <sub>4</sub>	125 m <sup>3</sup> /d	24 horas	96% para la DBO <sub>5</sub> , 99% para los SST y superior a 90% para el N-NTK	(Garzón-Zúñiga, Buelna, & Moeller-Chávez, 2012)
Aplicación de vermifiltros para reducir el DQO y DBO del agua residual de un Laboratorio de Análisis Químico, 2018.	Escala laboratorio.	Aguas residuales industriales	0,36 cm x 0,45 cm	Vermicomposta, arena, fibra de coco y aserrín	DQO, DBO, Turbidez, Conductividad Eléctrica, Temperatura, STS y pH	0,65 m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>	14 horas.	DQO y DBO en un 76.43% y 60.46 %	(Camargo, 2018)
Vermifiltración con lombriz roja (Eisenia Foetida) para el tratamiento de aguas residuales	Escala piloto	Aguas residuales domésticas y agroindustriales	7L	Vermicomposta, roca volcánica y grava triturada,	pH, temperatura, DQO, DBO, SST y Nitrógeno Total	0.012 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h	24h	64,7%	(Sánchez, 2020)
Remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante un proceso de	Escala real	Aguas residuales domésticas	65cm de altura x 20cm2 de ancho	Grava, arena, aserrín y lombriz	DBO, DQO, SST, Aceites y Grasas y Coliformes Termotolerantes	36 litros	110 minutos	94.4%	(Rivera, 2020)

vermifiltración y jacinto de agua (eichhornia crassipes) del asentamiento humano lomas de zapallal – distrito de Puente Piedra – Lima									
Estudio de la influencia de la tasa hidráulica en la biodegradación de aguas residuales domésticas tratadas por sistemas no convencionales de vermifiltración	Escala laboratorio.	Aguas residual doméstica	6 cm de diámetro y 55 cm de altura	Vermicomposta, grava y arena	Humedad, pH, temperatura, tasas hidráulicas, cargas orgánicas de DBO5, DQO y carga de nutrientes.	80 litros	0,2 horas	DQO en 26,4 a 38,7%, (N-NH4+) en 40 a 45% y (PT) 13,4 a 16,2%	(PAZMIÑO, 2018)
Proyecto de estación depuradora de aguas residuales en la urbanización las palmeras de San Fernando	Escala MM (Mercal Modificada)	Aguas residual doméstica	5.200 m <sup>2</sup>	Vermicomposta, grava y arena	DQO, DBO, SST, Aceites y grasas, y coliformes totales	240 l/m <sup>2</sup> ·d.	12 horas	85%	(Vicente, 2020)

Tratamiento de aguas residuales sintéticas de la industria láctea, mediante la implementación de dos vermifiltros para determinar la eficiencia en la reducción de la demanda química de oxígeno	Escala laboratorio.	Agua residual industrial del sacrificio de animales	6cm x 6cm	Arena, grava gruesa y mediana, antracita y arena de cuarzo	pH, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez, y DQO	0,00098 m <sup>3</sup> /h	4 horas	96,26%	(ESPINOZA & SANTIAGO, 2021)
Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra ( <i>Eisenia Foetida</i> ) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio	Escala laboratorio.	Aguas industriales lácteas	25cm x 20cm	Aserrín y viruta, gravilla y piedras de río	DBO, DQO, grasas y aceites, pH, (SS), (SST), temperatura y tensoactivos	2.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	10h 18min	99% de coliformes totales, 95% de DBO5; 95% de SS; 93% SST; y 60% a 80% del nitrógeno y 60% a 70% del fósforo	(DELGADO & CASTAÑEDA, 2016)
Incidencia de lombriz roja californiana y	Escala laboratorio.	Aguas residual doméstica	1m x 0,5m	Piedras redondas, grava,	DQO, DBO, sólidos disueltos	2,5 l/h	48 horas	DQO de 97.12 %, el DBO	(ACOSTA &

lenteja de agua en el tratamiento de aguas residuales urbanas				aserrín mezclada con Eisenia foetida.	totales, solidos suspendidos totales, solidos sedimentables, solidos totales, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, oxígeno disuelto y coliformes fecales			93.40 %, solidos disueltos totales 42 % sólidos suspendidos totales 42 %, sólidos totales 41.43 %, conductividad eléctrica 13 % y coliformes fecales de 85.33 %.	MONTÚF AR, 2020)
Treatment of Sewage by Vermifiltration	Escala piloto	Aguas residual doméstica	0.26 m3	Vermicomposta, piedra y grava	DBO, DQO, TDS, TSS, fósforo y nitrógeno.	2.0-6.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	6 a 9 horas	DQO fue de 80 % a 86 %, la remoción de la DBO5 fue de 90 % a 98 %, la remoción de SS fue de 95 % a 98 % y la remoción	(Patel & Gajera, 2011)



								del NH <sub>3</sub> -N fue de 30 % a 60 %	
Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity.	Escala piloto	Agua residual doméstica.	8m <sup>2</sup> x 7,2 m <sup>2</sup>	Vermicomposta, ceramsita y arena de cuarzo	DQO, DBO <sub>5</sub> , SS, TN y NH <sub>4</sub> -N	2,4 - 6,7 m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup>	30 a 31 días	DQO (47,3 - 64,7%), DBO <sub>5</sub> (54,78 - 66,36%), SS (57,18 - 77,90%), TN (7,63 - 14,90%) y NH <sub>4</sub> -N (21,01 - 62,31%)	(Xing, Li, & Yang, 2010)
Laboratory scale studies on domestic grey water through vermifilter and non-vermifilter	Escala laboratorio.	Agua grises domésticas	27 cm x 8cm	Vermicomposta, arena y grava	pH, eliminación eficiente de DBO y DQO	4 litros	2-3 horas	93%	(Kharwadea & Khedikar B, 2011)
Performance of A Pilot-Scale Vermifilter for the Treatment of A Real Hospital Wastewater	Escala piloto	Agua residual hospitalaria	40× 40× 120 cm	Adoquines, detritos, arena y lombriz de tierra de jardín.	pH, DQO, BOD <sub>5</sub> , y TSS	1 m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup>	4 semanas	DQO (75%), DBO <sub>5</sub> (93%) y TSS (89%)	(Nahid Ghobadi, Rahmani, Samadi, & KazemGodini, 2016)

Design and Suitability of Modular Vermifilter for Domestic Sewage Treatment.	Escala piloto	Agua residual doméstica	1350 mm x 1265 mm	Vermicomposta, grava, arena y lecho de suelo	pH, turbidez, sólidos totales, remoción de la demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno.	1500 litros	3 h	24.38%, 25.86%, 17.06%, 25.26%, 35.47% de DQO, DBO, Turbidez, TDS, TSS	(Guruprasad, 2015)
Performance Evaluation of Laboratory Scale Vegetated Vermifilter for Domestic Wastewater.	Escala laboratorio.	Agua residual de cervecerías y lecherías	25 L	Vermicomposta y aceite de jardín, y grava	pH, turbidez, sólidos totales, remoción de la demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno.	65 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día <sup>-1</sup>	1-2 horas	95%	(Angathekar & Patil, 2021)
Performance evaluation of vermifiltration technology for the treatment of wastewater using detoxifying earthworms: a case study	Escala piloto	Agua residual doméstica.	1-1.5 L	Vermicomposta, tierra de jardín y aserrín.	DBO5, COD, sólidos en suspensión TN y NH4-N	100 ml	5 horas	54,78%	(Singh & Bhatia, 2020)
An Eco-friendly and Innovative Technology for	Escala piloto	Agua residual doméstica.	0.3 m x 0.3 m x 0,6 m	Vermicomposta, grava	DQO, DBO5, SS, TC, FC y FS.	5 m <sup>3</sup> /metro <sup>2</sup> /d	5 días	80--95%	(Arora, Rajpal, &

Wastewater Treatment				fina y gruesa					Kumar, 2015)
Community Wastewater Treatment By Using Vermifiltration Technique.	Escala laboratorio	Agua residual doméstica.	20 litros	Áridos, arena con capa de estiércol de vaca y arcilla	DBO, DQO, TS, TDS y TSS.	3,5 m <sup>3</sup> /metro <sup>2</sup>	5 días.	DQO en 85-90%, TS en 90-95%, TDS en 95%, TSS en 95-98%	(Misal & NitishA. Mohite, 2017)
A Combined Vermifiltration-Hydroponic System for Swine Wastewater Treatment	Escala piloto	Agua residual cruda	Altura total 63 cm, diámetro interno 16 cm	Vermicomposta, grava, arena fina y virutas de madera de pino.	Conductividad eléctrica (CE), pH, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), Nitrógeno, fósforo y Bacterias coliformes	75 L	10,4 días	83% de la DBO5, 99% de amoníaco y nitrito	(Ispolnov, Aires, Lourenço, & Vieira, 2021)
Application of the effluent treatment plant based on Vermifilters (Pilot scale) for Liquid Effluent Bigestion of the gelatin industry	Escala piloto	Agua residual industrial	9 m × 7 m × 1 m	Arcilla apisonada, grava y arena fina	DBO, TDS y TSS.	10 L	4 a 5 min.	DQO en un 90,08 ± 0,176% y la DBO en un 89,24 ± 0,544%.	(Ghatnekar, y otros, 2010)

Vermiculture as a tool for domestic wastewater management	Escala real	Agua residual agrícola	4.000 metros cuadrados	Vermicomposta, arcilla y grava	DQO, DBO y SST.	$2.0 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ .	0.23 días	79%	(Bajsa, Jaya, Mathew, & Ho, 2003)
Developing a Testing Protocol for Vermifiltration-based Onsite Wastewater Treatment Systems (VOWTS)	Escala laboratorio	Agua residual domestica	100-200 mm	Vermicomposta, grava y arena de rio	DBO, DQO y TSS	150 litros	1 hora	92% DQO, 99% DBO5 y 97% SST	(Baumgartner, 2013)
Domestic wastewater treatment by bio-filtration: a case study.	Escala laboratorio	Agua residual domestica	9 mx 5 mx 1,75 m	Grava, arena, tierra pura y astillas de madera con estiércol de vaca	Temperatura, pH, DQO. DBO y TDS	30 m <sup>3</sup> / día	3 días	DQO) 68.52%; (DBO) 72,05%; sólidos totales disueltos 15,42%.	(Garkal, Mapara, & Prabhune, 2015)
Integrated microbial-vermifiltration technique for ayurvedic	Escala laboratorio	Agua residual domestica	26 cm de longitud y 17 cm de diámetro	Guijarros, ladrillos, grava y arena fina	pH, solidos disueltos totales, solidos suspendidos totales, DBO, aceites y	500 ml	24, 48 y 72 horas	DQO en un 98,03%, DBO en un	(Das, Joseph, & Varghese, 2015)

industrial effluents					grasas, fosforo total, nitrógeno total, sulfato, cromo, níquel y cobre			98,43%, 92,58%.	
Greywater treatment by vermifiltration for sub-Saharan urban poor	Escala laboratorio	Agua residual domestica	60 L	Vermicomposta, arena y grava	DBO5, DQO TSS, pH, Conductividad, Escherichia coli, Coliformes, termotolerante y Temperatura.	64 y 191 L m <sup>2</sup> D.	3 h	91%	(Adugna, Andrianisa, Konate, Ndiaye, & Maiga, 2014)
Earthworm–microorganism interactions: A strategy to stabilize domestic wastewater sludge	Escala laboratorio	Agua residual domestica	36 cm (largo) x 36 cm (ancho) x 36 cm (alto)	Grava, arena y tierra de jardín	pH, (CE), (DBO5), (DQO), (TS), (TSS) y (TDS).	10 L	8-10 horas	87%	(Wang, Meiyang, & Li, 2010)
Effect of earthworms on dairy wastewater treatment through vermifiltration	Escala laboratorio	Agua residual domestica	30 cm de diámetro y 60 cm de profundidad	Vermicomposta, grava y arena	TCOD, DQO y SCOD	3 m / d	24 h	56%	(Natarajan, Kannadasan, & Krishnamoorthy, 2015)
Decentralized waste water treatment by	Escala laboratorio	Agua residual domestica	255 mm x 300	Vermicomposta, grava y	DBO, DQO, (TSS), (TDS),	2,5 m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	5 a 20 días	La DBO, DQO, TSS, TDS	(RenuBhargava, JyotiVerm

vermifiltration using river bed material			mm x 300 mm	lecho de río	(TOC) y nitrato.			se redujeron 96%, 89%, 90% 82%	a, Prasad, & Kuma, 2011)
Earthworm effects on gaseous emissions during vermifiltration of pig fresh slurry	Escala real	Aguas residuales porcinas	48 m <sup>2</sup>	Vermicomposta, aserrín y astillas de madera	H <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O y CH <sub>4</sub>	28 L	2 semanas	0,4–0,9%	(Robin, y otros, 2010)

**Tabla 1.** Revisión bibliográfica de los diferentes estudios de vermifiltración recolectado en literatura escrita en idioma español e inglés. Fuente: propia

## 6.2 OBJETIVO 2:

- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MÁS RELEVANTES.

Se implementará una metodología de revisión que permitirá identificar si hay vacíos o, por el contrario, se puede tomar una decisión “coherente” que permita una investigación posterior con criterio, basado en el procedimiento desarrollado por autores como M. A. Jurado y C.A. Ramírez.

### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

1. En el estudio se utilizó agua residual doméstica o agua residual industrial para el proceso de vermifiltración.
2. En el estudio se tienen en cuenta muestras de agua evaluando los porcentajes de remoción obtenidos en las distintas investigaciones.
3. En el estudio se analiza la influencia que tiene el tiempo de retención hidráulico sobre el estado final de las aguas residuales vermifiltradas.
4. En el estudio se analizan los datos y/o de la incertidumbre a través de herramientas matemáticas o estadísticas robustas, nuevas o novedosas.
5. En el estudio se evalúa la efectividad de un anélido oligoqueto implementado en los distintos tipos de medios utilizados en el proceso de vermifiltración para aguas residuales

Evaluación de criterios a partir de la metodología implementada:

#### Calificación:

Mucho menos importante: 0,1

Menos importante: 0,2

Igualmente importante 1

Más importante: 5

Mucho más importante: 10

Criterio	1	2	3	4	5	Ponderado total	% de importancia
1		10	5	0,2	5	20,2	32%
2	10		0,2	0,1	10	20,3	32%
3	0,1	10		0,2	1	11,3	18%
4	0,1	0,1	5		0,1	5,3	8%
5	0,2	1	5	0,2		6,4	10%
Total						63,5	100%

**Tabla 2.** Evaluación de criterios a partir de la metodología implementada

Se sugiere una ponderación que permita obtener una calificación de 0 a 100% o de 0 a 5

El objeto de interés se divide en cuatro criterios de selección y a cada uno se le asigna un valor de relevancia así:

5 DESEMPEÑO EXCELENTE

4 A 4.9 DESEMPEÑO BUENO

3 A 3.9 DESEMPEÑO ACEPTABLE

2 A 2.9 DESEMPEÑO INSUFICIENTE

0 A 1.9 DESEMPEÑO DEFICIENTE

### CRITERIOS

1. En el estudio se utilizó agua residual doméstica o agua residual industrial para el proceso de vermifiltración.
2. En el estudio se tienen en cuenta muestras de agua evaluando los porcentajes de remoción obtenidos en las distintas investigaciones.
3. En el estudio se analiza la influencia que tiene el tiempo de retención hidráulico sobre el estado final de las aguas residuales vermifiltradas.
4. En el estudio se evalúa la efectividad de un anélido oligoqueto implementado en los distintos tipos de medios utilizados en el proceso de vermifiltración para aguas residuales

Referencia	Numero de criterio				Puntaje Total
	1	2	3	4	
1	5	4	4	3.8	4,2
2	4.7	5	3	3,5	4,1
3	3	2,5	3	3	2,9
4	4	3,8	5	2	3,7
5	3.2	5	2	4	3,6
6	2	3.1	3	4	3,0
7	4	5	5	3.6	4,4
8	2.7	3.5	4.2	5	3,9
9	5	5	5	5	5,0
10	4.8	4.5	4.3	4.2	4,5
11	3.1	3.3	4.8	5	4,1
12	3.5	3.5	3.5	3.5	3,5
13	4.6	4.7	4.8	5	4,8
14	3	4.6	5	3.9	4,1
15	4.7	4	4.8	5	4,6
16	4.5	4.2	4	4.7	4,4
17	4.8	3.7	3.6	4.5	4,2



18	3.9	5	3.7	4	4,2
19	3.8	4	5	5	4,5
20	4	4.4	4.8	5	4,6
21	5	4.5	4.3	5	4,7
22	5	5	4.8	4.6	4,9
23	5	4.8	5	5	5,0
24	4.7	4.3	3.9	4	4,2
25	4.8	3	2.8	4	3,7
26	4	3.8	5	5	4,5
27	5	4	4.6	5	4,7
28	5	4.3	3.8	5	4,5
29	5	4.7	3	5	4,4
30	4.9	5	3.8	4.5	4,6
31	5	4.6	4	4.7	4,6
32	4.3	4	4.6	4	4,2
33	4.2	3	4	3.8	3,8
34	3	2.8	4	5	3,7
35	4	4.6	4	5	4,4
36	4.9	5	3.1	4	4,3
37	4	4	3.3	4	3,8
38	4	3.6	4	5	4,2
39	3	4	4	3.9	3,7
40	3	3.8	4.1	2	3,2
Total de artículos preseleccionados	9	8	7	16	

**Tabla 3.** Documentos preseleccionados y puntaje asignado. (Jurado & Ramírez., 2017)

Se evaluarán las siguientes variables:

$$PPA\% = \left( \frac{T}{TA} \right) * 100$$

Donde:

PPA%(n)= Porcentaje de artículos preseleccionados que corresponden al criterio de selección n-simo

T=Total de artículos preseleccionados que corresponden al criterio de selección n-simo.

TA = Total de preguntas o criterios seleccionados.

$$APPA\%(1) = \frac{9}{40} * 100 = 22,5\%$$

$$APPA\%(2) = \frac{8}{40} * 100 = 20\%$$

$$APPA\%(3) = \frac{7}{40} * 100 = 17,5\%$$

$$APPA\%(4) = \frac{16}{40} * 100 = 40,5\%$$

Se calcula APPA% Donde:

$$APPA\% = \frac{PPA(1)\% + PPA(2)\% + PPA(3)\% + PPA(4)\%}{TC}$$

APPA% = Promedio de porcentajes de preguntas o criterios de selección.

PPA%(n)= Porcentaje de artículos que responden a las preguntas o criterio de sección.

TC = Total de preguntas o criterios de selección.

$$APPA\% = \frac{22,5\%+20\%+17,5\%+40,5\%}{4} = 25,13\%$$

Luego se calcula MAPAA% donde:

$$MAPAA\% = \frac{APPA\%}{3}$$

MAPAA%= porcentaje de quiebre, mínimo o límite.

APPA% = Promedio de porcentajes de preguntas o criterios de selección.

$$MAPAA\% = \frac{25,13\%}{3} = 8,38\%$$

Se presentan los indicadores calculados, con el fin de identificar las oportunidades de investigación o vacíos. A este respecto, según el autor, si algún valor del porcentaje de artículos preseleccionados (PAA%) es menor que el valor del porcentaje de quiebre (MAPAA%), se revela una oportunidad de investigación no abordada por la literatura científica. (Jurado & Ramírez., 2017)

Indicador	Valor calculado			
PAA%	22,5%	20%	17,5%	40,5%
APPA%	25,13%			
MAPAA%	8,38%			

**Tabla 4.** Indicadores calculados para la identificación de vacíos u oportunidades de investigación (Jurado & Ramírez., 2017)

### 6.3 OBJETIVO 3:

- DISEÑO DE UN REACTOR A ESCALA LABORATORIO SEGÚN LOS PARÁMETROS Y MEDIOS MÁS USADOS ENCONTRADOS EN LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Parámetro	Concentración inicial (Co) Ppm O <sub>2</sub>	Concentración final (Ce) Ppm O <sub>2</sub>	Tiempos de residencia (θ) días	Eficiencia %	Cinética d <sup>-1</sup>	Artículo
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	88,24	46,67	3	72,05 %	0,296	(Garkal, Mapara, & Prabhune, 2015)
Demanda química de oxígeno (DQO)	85,71	36,84		68,52 %	0,442	
Sólidos suspendidos totales (SST)	228	40		15,42 %	1,566	
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	38,5	19	0,166667	49,35 %	6,182	(Andrade, 2015)
Demanda química de oxígeno (DQO)	82,5	33,5		40,60 %	8,811	
Sólidos suspendidos totales (SST)	342,16	217,72		63,63 %	3,443	
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	270	142	0,375	90 %	2,403	(Cardoso, Ramírez, & Garzón, 2011)
Demanda química de oxígeno (DQO)	541	130		80 %	8,430	
Sólidos suspendidos	177	99		98 %	2,101	

totales (SST)						
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	186	2	0,208333	96,27 %	442,30	(FLORES, 2019)
Demanda química de oxígeno (DQO)	568	46		84%	54,55	
Sólidos suspendidos totales (SST)	147	4		98%	171.87	
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	60,89	54,78	0,458333	97%	0,243	(DACAS A, 2012)
Demanda química de oxígeno (DQO)	57,55	47,26		96,8%	0,475	
Sólidos suspendidos totales (SST)	77,9	62,06		56,7%	0,55	
Altura y ancho		Materiales		% de espesores		
9m x 5 m		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tierra pura y astillas de madera con estiércol de vaca: 3,5 m</li> <li>Grava: 3m</li> <li>Arena: 2,5 m</li> </ul>		1ra: 39% 2da: 33% 3ra: 28%		
0,64 m x 0, 251 m		<ul style="list-style-type: none"> <li>Suelo y lombrices: 0,08m</li> <li>Grava: 0,4 m</li> <li>Arena: 0,16 m</li> </ul>		1ra: 12,5% 2da: 62,5% 3ra: 25%		
0,55m x 1,1m		<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermicomposta: 0,45 m</li> <li>Viruta: 0,1 m</li> </ul>		1ra: 41% 2da: 9% 3ra: 23% 4ta: 27%		

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tezontle: 0,25 m</li> <li>• Grava: 0,3 m</li> </ul>	
0,42 m <sup>3</sup> x 0,9 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piedra pómez: 0,10 m<sup>3</sup></li> <li>• piedra bola: 0,10 m<sup>3</sup></li> <li>• grava: 0,05 m<sup>3</sup></li> <li>• aserrín y viruta: 0,10 m<sup>3</sup></li> <li>• suelo de granja: 0,07 m<sup>3</sup></li> </ul>	1ra: 24% 2da: 24% 3ra: 12% 4ta: 24% 5ta: 16%
199,4 m x 47,5 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermicomposta: 47,5 m</li> <li>• Tierra y viruta: 47,5 m</li> <li>• Tezontle: 80,7 m</li> <li>• Grava: 23,7 m</li> </ul>	1ra: 24% 2da: 24% 3ra: 41% 4ta: 11%

**Tabla 5.** Análisis de datos obtenidos en las revisiones bibliográficas de cinco artículos de referencia. Fuente: propia.

Para el diseño de un vermifiltro a escala laboratorio para agua residual doméstica se hará a partir de un reactor de flujo continuo y mezcla completa en estado estacionario.

Se tienen los siguientes datos:

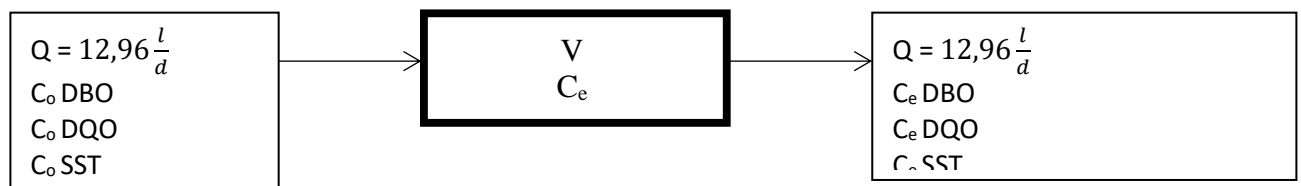
Concentración inicial (C<sub>o</sub>): DBO: 38,5 ppm O<sub>2</sub>; DQO: 82,5 ppm O<sub>2</sub>; SST: 342,16ppm O<sub>2</sub>

Concentración final (C<sub>e</sub>): DBO: 19 ppm O<sub>2</sub>; DQO: 33,5 ppm O<sub>2</sub>; SST: 217,72 ppm O<sub>2</sub>

Tiempos de residencia (θ): 0,166667 días

Caudal de diseño (Q): 12,96  $\frac{l}{d}$

K= 442,30 días<sup>-1</sup>



$$V = f(Q, C_o, C_e, \theta, E, r)$$

Para iniciar a operar se inicia con el balance de masas, mediante la siguiente ecuación:

$$genera = sale - entra + acumula$$

$$V \frac{dC}{dt} = Q C_o - Q C_e - V k C_e$$

$$0 = Q C_o - Q C_e - V k C_e$$

$$Q C_o = Q C_e + V k C_e$$

$$C_o = \frac{Q C_e + V k C_e}{Q}$$

$$C_o = \frac{Q C_e}{Q} + \frac{V k C_e}{Q}$$

$$C_o = C_e + \frac{V k C_e}{Q}$$

$$C_o = C_e \left( 1 + \frac{V k}{Q} \right)$$

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

$$Q = \frac{V}{\theta}$$

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

Reemplazando el tiempo en la siguiente ecuación queda:

$$C_o = C_e (1 + \theta k)$$

$$C_e = \frac{C_o}{(1 + \theta k)}$$

Donde se busca hallar la cinética del reactor, despejando de la siguiente forma:

$$k = \left( \frac{C_o}{C_e} - 1 \right) * \frac{1}{\theta}$$

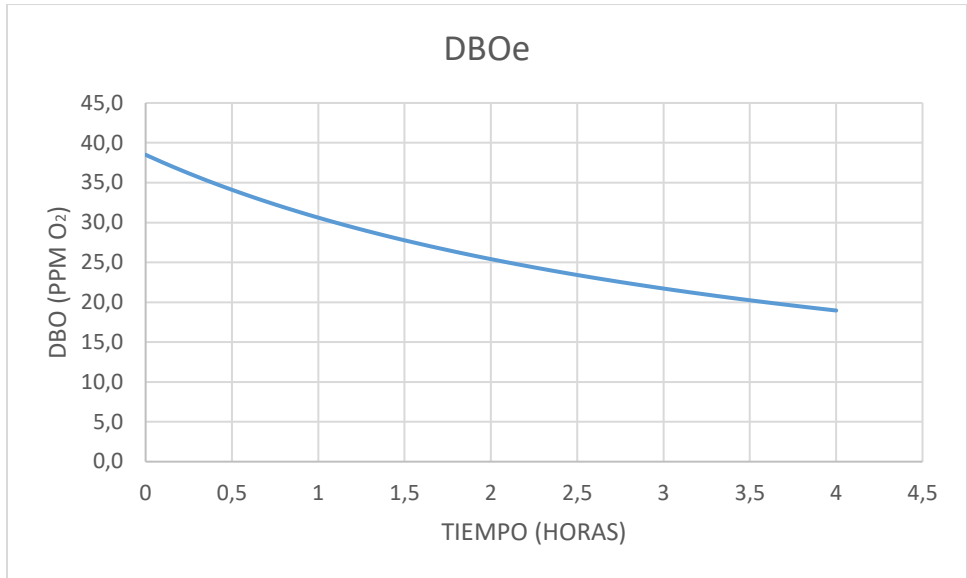
Reemplazamos para obtener la cinética en las 3 concentraciones (DBO, DQO, SST)

$$K_{\text{DBO}} = \left( \frac{38,5}{19} - 1 \right) * \frac{1}{0,166667} = 6,182 \text{ d}^{-1}$$

$$K_{\text{DQO}} = \left( \frac{82,5}{33,5} - 1 \right) * \frac{1}{0,166667} = 8,811 \text{ d}^{-1}$$

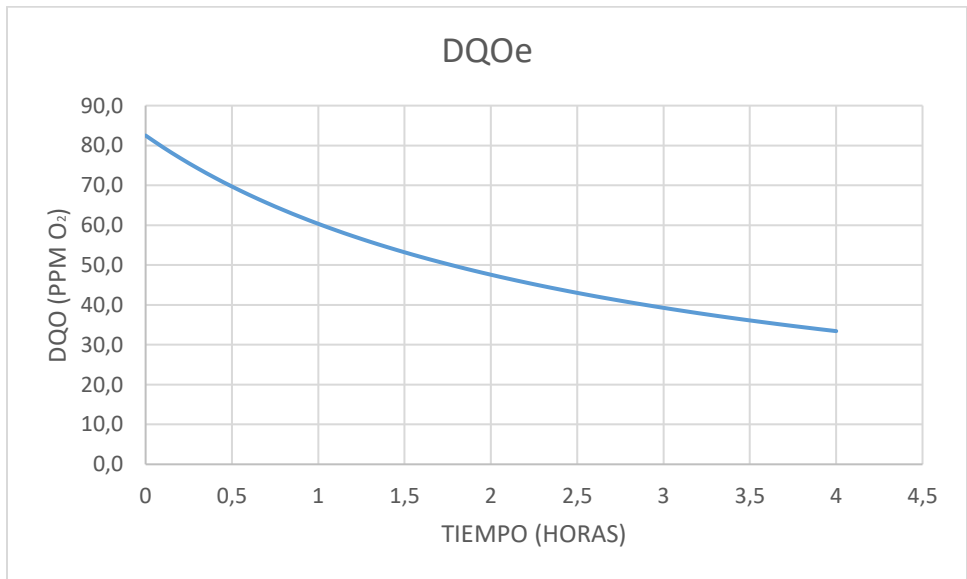
$$K_{\text{SST}} = \left( \frac{342,16}{217,72} - 1 \right) * \frac{1}{0,166667} = 3,443 \text{ d}^{-1}$$

Según los datos obtenidos anteriormente se observa que:



Grafica 1. Cinética de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). Fuente: propia.

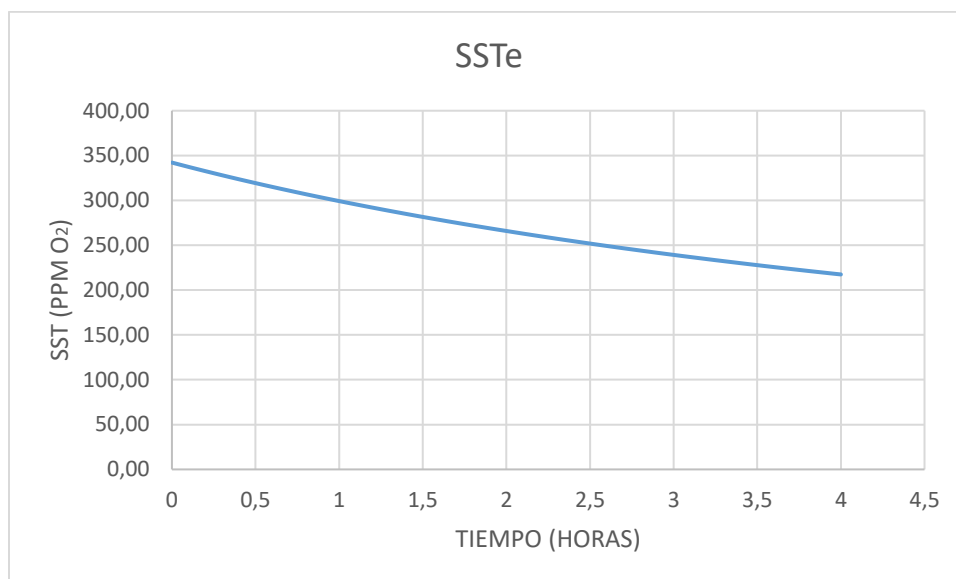
Analizando los datos obtenidos por la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de aguas residuales domésticas, se observa una reducción del 49,35 % en la cantidad de oxígeno consumida por los microorganismos durante la el proceso de vermifiltración, ya que, empieza con una concentración de 38,5 ppm O<sub>2</sub> y finaliza con 19 ppm O<sub>2</sub> en un rango de 0 a 4 horas (0,166667 días), tiempo que demora el agua en pasar por el reactor. Lo que indica que el proceso es eficiente para este parámetro.



Grafica 2. Cinética de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Fuente: propia.

Según la gráfica, para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el proceso de vermifiltración, se obtiene la reducción del 40,60%. Iniciando con una concentración de 82,5 ppm O<sub>2</sub> se reduce hasta 33,5 ppm O<sub>2</sub> en un rango de 0 a 4 horas (0,166667 días) que es el

tiempo de retención hidráulico del reactor, lo que indica que este proceso es eficiente para la cantidad de sustancias susceptibles a la oxidación.



Gráfica 3. Cinética de Sólidos Suspendidos Totales (SST) Fuente: propia.

En base a los datos obtenidos para el análisis de Sólidos Suspendidos Totales (SST) que indica la cantidad de sólidos en suspensión que pueden ser separados por procesos como la vermifiltración, indica una reducción del 63,63 % , partiendo de una concentración de 342,16 ppm O<sub>2</sub> decrece hasta 217,72 ppm O<sub>2</sub> , lo que indica que el proceso es efectivo para este parámetro.

### 6.3.1 DISEÑO DEL REACTOR

A partir de la fórmula de caudal, se procede a despejar el valor del volumen del reactor, así:

$$Q = \frac{V}{\theta}$$

$$V = Q \times \theta$$

$$V = 12,96 \frac{l}{d} \times 0,166667d$$

$$V = 2,159 l = 2159 cm^3$$

Basados en el artículo (DACASA, 2012) donde se plantea una relación de 8:1, se decide trabajar con esta condición ya que este se desarrolla a escala real.

Geometría cilíndrica:

$$V = \pi r^2 h$$

Condiciones de diseño:



$$h = 8r \quad (\text{DACASA, 2012})$$

Tomando el volumen calculado, y las condiciones de diseño del trabajo de DACASA, 2012 y reemplazando en la ecuación geométrica queda:

$$2159 \text{ cm}^3 = \pi r^2 8r$$

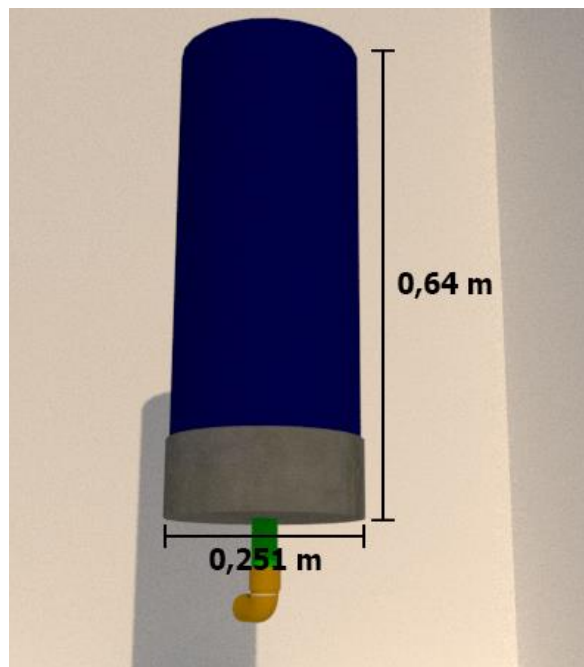
$$2159 \text{ cm}^3 = 8\pi r^3$$

$$\sqrt[3]{r^3} = \sqrt[3]{\frac{2159 \text{ cm}^3}{8\pi}}$$

$$r = 4,41 \text{ cm}$$

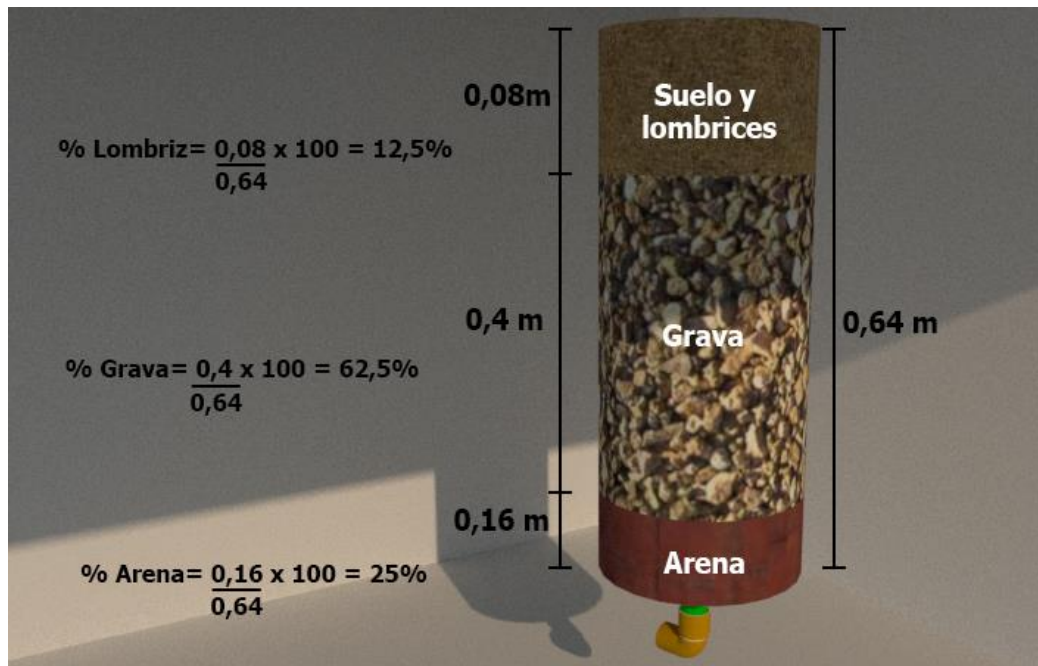
$$h = 35,29 \text{ cm}$$

Para el cálculo de los diferentes tipos de medios dentro del reactor, se toma del diseño inicial de (Andrade, 2015)



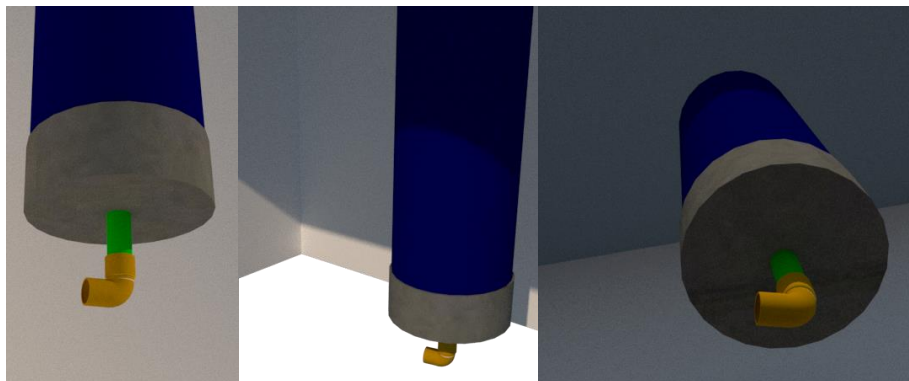
**Imagen 1.** Diseño de vermifiltro a escala laboratorio (Andrade, 2015). **Fuente:** propia.

El cual cuenta con 3 tipos de medios (Suelo y lombrices, Grava y Arena) y se determinan sus espesores de la siguiente manera:

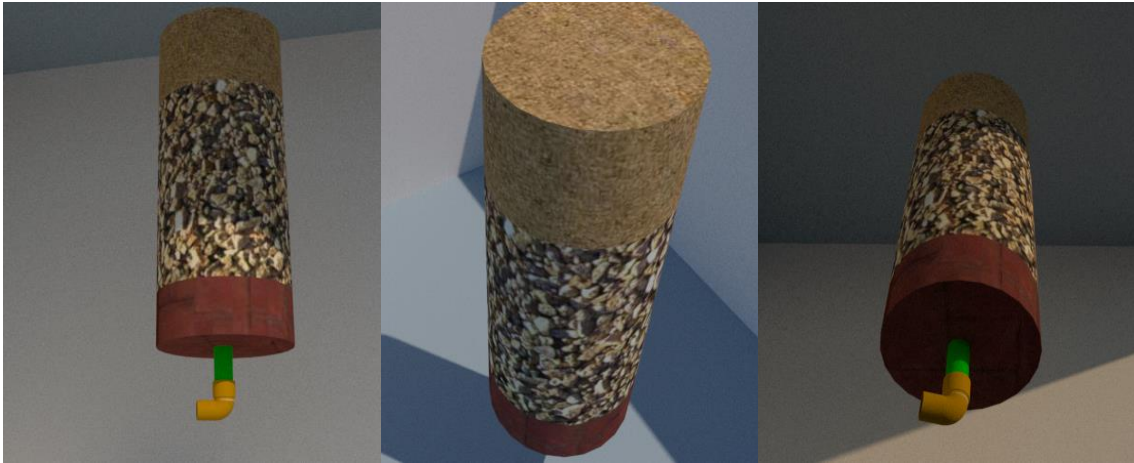


**Imagen 2.** Tipos de medio en vermifiltro a escala laboratorio (Andrade, 2015). **Fuente:** propia.

De esta manera, se obtiene el resultado final del vermifiltro a escala laboratorio, con sus respectivas dimensiones:



**Imagen 3.** Vermifiltro a escala laboratorio exterior (Andrade, 2015). **Fuente:** propia.



**Imagen 4.** Vermifiltro a escala laboratorio interior (Andrade, 2015). **Fuente:** propia.

## 7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

<b>Cronograma de actividades- Tesis</b>						
<b>REVISIÓN SISTEMÁTICA DE PARÁMETROS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS USANDO VERMIFILTROS A ESCALA LABORATORIO.</b>						
<b>Objetivos</b>	<b>Mes 1</b>	<b>Mes 2</b>	<b>Mes 3</b>	<b>Mes 4</b>	<b>Mes 5</b>	<b>Mes 6</b>
Objetivo 1						
Objetivo 2						
Objetivo 3						
Informe Final						

Tabla 6. Cronograma de actividades.

## **8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

### **8.1 OBJETIVO 1.**

Al consultar 40 estudios relacionados con la vermifiltración y sus componentes, se evidencia que la metodología más implementada es la creación de vermifiltros a escala laboratorio implementado aguas residuales domésticas, ya que, esto representa una alternativa económicamente viable, ambientalmente sustentable y socialmente aceptada, pues no requiere mucha energía, degrada casi la totalidad de sólidos orgánicos y no produce lodos inestables.

Los proyectos que involucren la implementación de este tratamiento pueden ser implementados con la inclusión de residuos orgánicos sólidos, lo que permitiría un tratamiento en conjunto de agua residual doméstica y residuos orgánicos sólidos generados en una vivienda.

La vermifiltración o lombrifiltración fue primeramente desarrollada por el Profesor José Tohá de la Universidad de Chile (Toha, 1992). La vermifiltración se describe como un tratamiento global de aguas residuales domésticas, no habiendo tratamientos primarios, secundarios ni terciarios. El biofiltro no se satura, debido a la acción de micro y macroorganismos. Es ecológico porque: no se usan aditivos químicos ni se producen residuos contaminantes; hay muy poco consumo de energía. Es eficiente porque: se alcanza un alto grado de purificación con una remoción de hasta 96% de DBO5 y sólidos suspendidos. Se necesita poco espacio. Es económico porque: los costos de construcción y mantenimiento son menores que en los sistemas tradicionales y el agua puede ser inmediatamente reutilizada para riego y otros usos agrícolas y agropecuarios. No hay formación de lodos, ya que la materia orgánica es consumida. El tratamiento se hace en un soporte sólido, lo cual implica un menor espacio. En 1994, se construyó en Melipilla, Chile la primera planta de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando esta nueva tecnología, para una población de 1,000 personas. Tiene un potencial inmenso para su uso en áreas rurales. (Cardoso, Ramírez, & Garzón, 2011)

### **8.2 OBJETIVO 2.**

Con base a los artículos analizados se implementa la metodología de revisión bibliográfica propuesta por M. A. Jurado y C.A. Ramírez, que permite identificar si hay vacíos o, por el contrario, se puede tomar una decisión “coherente” que permita una investigación posterior con criterio.

Este objetivo comienza evaluando cinco criterios preseleccionados con el fin de elegir solo los más relevantes para describir los estudios realizados para la vermifiltración, quedando así seleccionados 4 de los 5 iniciales los cuales son:

1. En el estudio se utilizó agua residual doméstica o agua residual industrial para el proceso de vermifiltración.

2. En el estudio se tienen en cuenta muestras de agua evaluando los porcentajes de remoción obtenidos en las distintas investigaciones.
3. En el estudio se analiza la influencia que tiene el tiempo de retención hidráulico sobre el estado final de las aguas residuales vermifiltradas.
4. En el estudio se evalúa la efectividad de un anélido oligoqueto implementado en los distintos tipos de medios utilizados en el proceso de vermifiltración para aguas residuales.

Luego de esto se procede a evaluar con dichos parámetros los 40 estudios examinados en el primer objetivo del trabajo en donde se obtienen porcentajes de coincidencia por criterio de: 22,5%, 20%, 17,5% y 40,5%.

Siendo así, el número 4 el parámetro más alto de estudio, el cual evalúa el tipo de anélido oligoqueto que conforma la Vermicomposta inicial del filtro, lo que demuestra que el uso de la *Eisenia foetida*, más conocida como Lombriz Roja Californiana, es la más efectiva para los procesos de vermifiltración y la que se utiliza comúnmente para esta biotecnología de tratamiento de aguas residuales. El número 3 termina siendo el criterio más bajo, que evalúa los tiempos de retención hidráulico, ya que en muchos de los estudios este parámetro debía ser inducido, no era claro o simplemente no se tenía en cuenta por lo que recibe el puntaje más bajo de evaluación y se recomienda en esta clase de estudios ser más enfáticos en incluir este parámetro ya que describe el tiempo durante el que se almacena un volumen de aguas residuales en el tanque de retención o en este caso en el biofiltro.

Sin embargo, todos los estudios dan un porcentaje de coincidencia por criterio mayor al porcentaje de quiebre, lo que demuestra que dentro de la literatura científica se abarca buena información para una investigación posterior con criterio.

### **8.3 OBJETIVO 3.**

Al analizar los datos obtenidos de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) de 5 de los artículos estudiados anteriormente, se puede comprobar que la implementación de Vermifiltros para las aguas residuales, tanto como domésticas como industriales, reduce un alto porcentaje en las concentraciones de estos parámetros, ya que como se puede observar en las Gráficas 1, 2 y 3 que la curva inicia en una alta concentración y se reduce notoriamente de forma descendente, esto ocurre dentro de los rangos de 0 horas hasta el tiempo de retención hidráulico que indicaba cada estudio.

Para la conformación de los estratos se tomó como referencia lo que el autor inicialmente había planteado en su estudio, que fue el de (Bharambe, Bapat y Sinha, 2009), dando lugar a la siguiente composición: 3 estratos distribuidos de abajo hacia arriba por 0,16m que equivalen al 25% de agregados de 10 a 12 mm mezclados con arena, 0,4m que equivalen al 62,5% de agregados de grava en diferentes diámetros y 0,08m que equivalen al 12,5% de suelo (este estrato alberga lombrices *Eisenia foetida*).

Todos los datos utilizados para el planteamiento del diseño de un vermifiltro a escala laboratorio para aguas residuales domésticas fueron tomados del estudio experimental realizado por (Andrade, 2015) ya que este se realiza en la ciudad de Quito, Ecuador, la cual se encuentra 2800 m.s.n.m, su clima es templado húmedo caracterizado por ser una zona lluviosa. Si comparamos estas características con las de Manizales, la ciudad se encuentra a una altura de 2153 m.s.n.m y se caracteriza por su vegetación local de bosque húmedo tropical. Lo que indica que las características endémicas de ambas ciudades son similares y lo que se pretende con este estudio es diseñar de un vermifiltro a escala laboratorio que pueda ser implementado en Universidad Católica de Manizales.

## 9. CONCLUSIONES

- Los procesos de vermifiltración que se ha utilizado para aguas residuales domésticas, demuestran que son efectivos para eliminar cargas contaminantes, se evidencian en los porcentajes de remoción obtenidos, valores de eliminación de DBO<sub>5</sub> entre 81% hasta 97%, DQO entre 88,8% y 96,6%, y de SST rangos entre 45,8% y 85,2%.
- La vermifiltración para aguas residuales, tanto industriales como domésticas, es un tratamiento alternativo por las ventajas ecológicas y bajos costos de mantenimiento e instalación que este posee. Esta biotecnología puede ser implementada en pequeñas comunidades e industrias de mediano tamaño para la reducción de carga contaminante del agua residual.
- Para garantizar el buen funcionamiento de un vermifiltro, se debe monitorear regularmente la temperatura de la capa inicial de vermicomposta, ya que, es allí donde habitan los anélidos oligoquetos. Temperaturas fuera de un rango óptimo y tolerable para las lombrices puede afectar su normal desarrollo y disminuir el tratamiento del agua residual; para mejorar el rendimiento del sistema se puede incluir aireación dentro del medio filtrante para contribuir al desarrollo de microorganismos degradadores.
- Dentro de la literatura científica se abarca un buen porcentaje de información que permite oportunidades de investigación para el tema de vermifiltración, según la metodología de revisión implementada en este trabajo, propuesta por M. A. Jurado y C.A. Ramírez. Sin embargo, aunque todos los estudios dan un porcentaje de coincidencia por criterio mayor al porcentaje de quiebre, se evidencia que en muchos de estos, el dato de los tiempos de retención hidráulico debía ser inducido, no era claro o simplemente no se tenía en cuenta por lo que recibe el puntaje más bajo de evaluación y se recomienda en esta clase de estudios ser más enfáticos en incluir este parámetro ya que describe el tiempo durante el que se almacena un volumen de aguas residuales en el tanque de retención o en este caso en el biofiltro.
- La alternativa de un vermifiltro a escala laboratorio para aguas residuales podría ser viable para la Universidad Católica de Manizales, ya que, según las condiciones climática que alberga la ciudad, pueden ser favorables para el desarrollo de las lombrices en óptimo funcionamiento, según los distintos escenarios comparados.



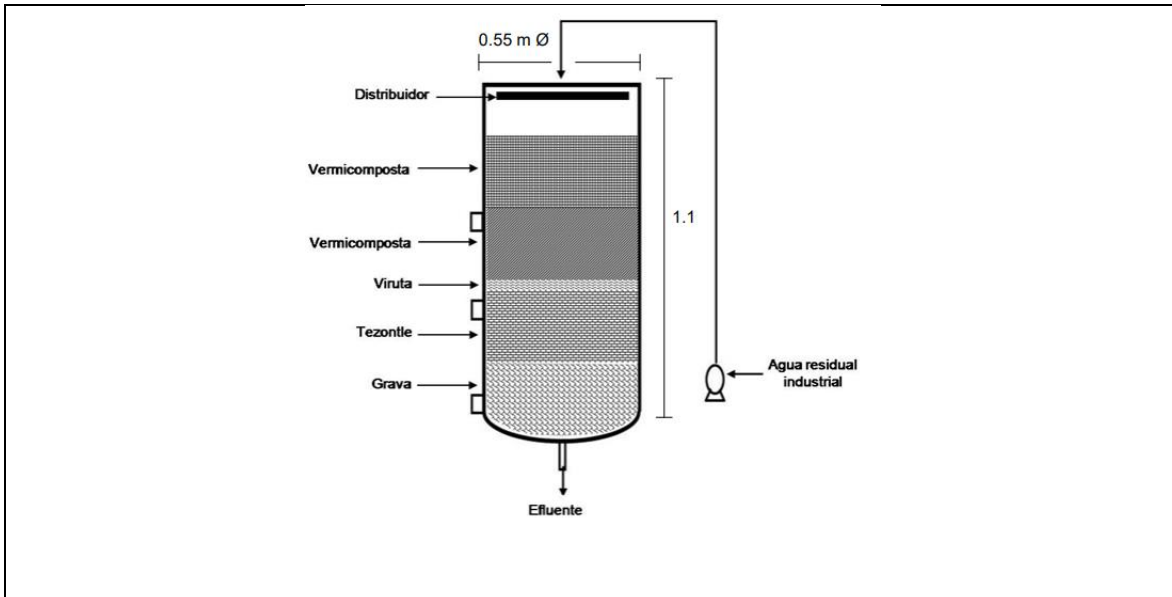
## 10. ANEXOS

<p><b>1. Nombre del artículo</b> VERMIFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</p>	<p><b>Escala</b> Montaje de 3 vermifiltros a escala laboratorio</p>																				
<p><b>Tipo de agua</b> Aguas residuales domesticas de fuerte y mediana concentración, estas varían dependiendo del hábitos de la población y aspectos socioeconómicos, culturales y climáticos, pero generalmente contienen un alto porcentaje de materia orgánica, nutriente y microorganismos, contiene alrededor de ‘,1% de solidos suspendidos, disueltos y coloidales.</p>																					
<p><b>Volúmenes del reactor</b> 4 estratos distribuidos de abajo hacia arriba de la siguiente manera: 31,25% de agregados de 7,5 cm, 31,25 de agregados entre 3,5 y 4,5cm, 25% de agregaos de 10 a 12 mm mezclados con arena y 12.5% de suelo (el estrato alberga las lombrices). En los 3 reactores se planteó la distribución del tamaño de los agregados siendo la composición incorporada a nuevas variaciones tanto de tamaño como de sustratos que contienen lombrices.</p> <table border="1" data-bbox="467 873 1151 1432"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Contenido</th> <th>Volumen(l)</th> <th>Altura (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Suelo y 121 lombrices</td> <td>25,132</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Agregados de grava de 10 - 12 mm mezclados con arena</td> <td>50,264</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Agregados de grava de 3,5 - 4,5 cm</td> <td>62,83</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Agregados de grava de 7,5 cm</td> <td>62,83</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>		Material	Contenido	Volumen(l)	Altura (cm)	A	Suelo y 121 lombrices	25,132	8	B	Agregados de grava de 10 - 12 mm mezclados con arena	50,264	16	C	Agregados de grava de 3,5 - 4,5 cm	62,83	20	D	Agregados de grava de 7,5 cm	62,83	20
Material	Contenido	Volumen(l)	Altura (cm)																		
A	Suelo y 121 lombrices	25,132	8																		
B	Agregados de grava de 10 - 12 mm mezclados con arena	50,264	16																		
C	Agregados de grava de 3,5 - 4,5 cm	62,83	20																		
D	Agregados de grava de 7,5 cm	62,83	20																		
<p><b>Tipos de medios</b> Al agregar roca de distintos diámetros, el suelo y la arena contribuyen en la filtración del agua residual y proveen un lecho para microorganismos que favorece la disminución de DQO, DBO5, solidos disueltos y turbidez. A medida que el agua residual percola por el medio filtrante se forma una capa biofilm, la cual es una interacción compleja entre microorganismos y una superficie, esto se forma en el vermifiltro a medida que el ARD fluye por el medio filtrante.</p>																					
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> Se analizaron parámetros fisicoquímicos de los afluentes de los 3 vermifiltros, así como del agua residual para el levantamiento de la línea base, dichos parámetros fueron la</p>																					

turbidez, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, nitrógeno total, fósforo, DQO y DBO5.	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Corresponde al volumen de ARD aplicado diariamente, para lo que se midió previamente caudales de entrada en los vermifiltros mediante el método volumétrico, obteniendo un caudal de entrada de 540 ml/h</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> Tiempo en el que el agua residual está en contacto con el sistema de vermifiltración, para calcularlo se empleó un trazador y se tomó el tiempo que se demoró en atravesar cada uno de los vermifiltros la primera gota en esta sustancia, lo cual llega fue un estimado de 30 minutos, mientras que en sistema de tratamiento convencional de lodos activados puede durar de 3 a 4 horas y en una laguna aireada toma 20 días.</p>
<p><b>Eficiencia</b> Según este estudio se reporta una eficiencia cerca de 96% puesto que en el tratamiento de ARG reducen la DQO de 568 mg/l a 46 mg/l, el DBO5 de 186 mg/l a 2mg/l y sólidos suspendidos totales de 147 mg/l a 4 mg/l siendo este más efectivo que un tanque de lodos activados con una eficiencia del 85% y las lagunas aireadas con una eficiencia del 80%, un vermifiltro cuenta con un porcentaje mayor al 90%.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b>  Andrade, V. G. (2015). <i>VERMIFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</i>. Universidad de Las Américas sede Quito. Tomado de: <a href="http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4470/1/UDLA-EC-TIAM-2015-17.pdf">http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4470/1/UDLA-EC-TIAM-2015-17.pdf</a></p>

**Tabla 7.** Ficha bibliográfica

<p><b>2. Nombre del artículo</b>  Vermifiltración para tratamiento de aguas residuales industriales y municipales</p>	<p><b>Escala</b> Se diseñó y construyó un vermifiltro a escala piloto (VP) el cual se instaló en la planta piloto del IMTA, para evaluar las condiciones de vermifiltración a escala real y de determinar las mejores condiciones de operación.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Aguas residuales industriales y municipales, la cual corresponde a un agua residual de concentración de carga orgánica débil, mientras que los nutrientes (N, P) la concentración corresponden a un agua residual de carga media.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> Volumen del reactor: <math>VR = \pi \times r^2 \times h = 0.26 \text{ m}^3</math> El reactor tiene una media esfera en el fondo, con una altura de la columna 0.18 cm y es donde se colocó la capa de grava triturada.</p>	



**Tipos de medios**

El reactor cuenta con un medio filtrante orgánico que contiene lombrices y microorganismos degradadores. Las lombrices tienen un doble papel como aeradores y como pequeños biodigestores. Debido a su labor de aeración se provoca un florecimiento de microorganismos aerobios que en simbiosis con las lombrices van a permitir la degradación de la materia orgánica que es retenida en el material filtrante.

**Parámetros fisicoquímicos**

Se midieron algunos parámetros con mayor frecuencia como DQO, nutrientes, pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto, mediante los procedimientos seleccionados del manual Hach sobre análisis del agua para la determinación de diferentes parámetros. Se analizaron muestras semanales tomadas del influente y efluente del VP, CV y Vfam.

**Carga Hidráulica**

Para el presente proyecto se emplearon los vermifiltros de doble capa (orgánica e inorgánica) para permitir el flujo continuo y una carga hidráulica mayor. Con esta carga hidráulica el sistema puede remover 74%- 87% de DQO, 30%-57% de nitrógeno amoniacal; 25%-40% de nitrógeno total y 40-57% de fósforo total, contando así con una carga hidráulica de 2.0 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup> •d ya que permite un estado de flujo continuo.

**Tiempo de retención hidráulica**

El tiempo de retención hidráulico (TRH) para el reactor anaerobio varió de 6 a 9 horas, para lo que se usaron los datos generados en las pruebas de vaciado: caudal, tiempo total de la prueba, volumen total drenado, volumen de cama de MF en la columna de prueba y volumen de cama de MF en cada reactor.

**Eficiencia**

Los resultados del tratamiento combinado UASB-Ecofiltro muestran que la eficiencia de remoción para la DQO fue de 80 % a 86 %, la remoción de de la DBO5 fue de 90 %

**Referencia bibliográfica**

Cardoso Vigueros, Ramírez Camperos, Garzón-Zúñiga, Bahena Castro, Morales Albavera, Raciél Cervantes Decasa, & Diaz. (2011). *VERMIFILTRACIÓN PARA*

<p>a 98 %, la remoción de SS fue de 95 % a 98 % y la remoción del NH<sub>3</sub>-N fue de 30 % a 60 %.</p>	<p><i>TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</i>. INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA. Tomado de:  <a href="http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1448/TC-1107.1.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1448/TC-1107.1.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a></p>
--	---

**Tabla 8.** Ficha bibliográfica

<p><b>3. Nombre del artículo</b></p> <p>Evacuación de dos lechos filtrantes en un vermifiltro diseñado a escala laboratorio.</p>	<p><b>Escala</b></p> <p>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.</p>																					
<p><b>Tipo de agua</b></p> <p>Se trata un agua residual sintética con características típicas de un vertimiento de agua residual doméstica.</p>																						
<p><b>Volúmenes del reactor</b></p> <p>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.</p> <table border="1" data-bbox="472 1024 1149 1581"> <tr> <td>Caudal de recirculación (R)</td> <td>0</td> <td>m<sup>3</sup>/día</td> </tr> <tr> <td>Factor de recirculación (F)</td> <td>1</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>Volumen del filtro</td> <td>0,231</td> <td>m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Profundidad del medio filtrante (H):</td> <td>1</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Área del filtro (A):</td> <td>0,231</td> <td>m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Tasa de aplicación superficial (TAS)</td> <td>1,00</td> <td>m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>. día)</td> </tr> <tr> <td>Carga orgánica (CV)</td> <td>0,08</td> <td>KgDBO/(m<sup>3</sup>.d)</td> </tr> </table>		Caudal de recirculación (R)	0	m <sup>3</sup> /día	Factor de recirculación (F)	1	—	Volumen del filtro	0,231	m <sup>3</sup>	Profundidad del medio filtrante (H):	1	m	Área del filtro (A):	0,231	m <sup>2</sup>	Tasa de aplicación superficial (TAS)	1,00	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> . día)	Carga orgánica (CV)	0,08	KgDBO/(m <sup>3</sup> .d)
Caudal de recirculación (R)	0	m <sup>3</sup> /día																				
Factor de recirculación (F)	1	—																				
Volumen del filtro	0,231	m <sup>3</sup>																				
Profundidad del medio filtrante (H):	1	m																				
Área del filtro (A):	0,231	m <sup>2</sup>																				
Tasa de aplicación superficial (TAS)	1,00	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> . día)																				
Carga orgánica (CV)	0,08	KgDBO/(m <sup>3</sup> .d)																				
<p><b>Tipos de medios</b></p> <p>Medio filtrante, lombrices de tierra y la cascarilla de café, que permiten mayores reducciones de parámetros contaminantes en el agua residual.</p>																						
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b></p> <p>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</p>																						

<p>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.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Este sistema de vermifiltración se diseñó específicamente con la carga orgánica y con la carga hidráulica, Caudal de aguas residuales 0,12 m<sup>3</sup>/día</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> 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</p>
<p><b>Eficiencia</b> 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 %.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Guerrero, P. A., Díaz, J. M., &amp; Moreno, O. D. (2020). <i>Evacuación de dos lechos filtrantes en un vermifiltro a escala laboratorio</i>. Universidad Mariana.</p>

**Tabla 9.** Ficha bibliográfica

<p><b>4. Nombre del artículo</b> Preparación y composición de agua residual sintética para ser alimentada en vermifiltros a escala laboratorio.</p>	<p><b>Escala</b> La dificultad de transporte de grandes muestras para ser llevadas al laboratorio para alimentar los reactores, más aún en nuestro caso, por ser un proceso continuo. Y principalmente, por la manipulación del agua residual doméstica por la presencia de microorganismos patógenos.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Se utilizó un agua residual sintética que cumpliera con las características similares al agua residual doméstica vertida sobre el sector medio bajo de la quebrada Magdalena, municipio de Sandoná, dado que no existe una metodología específica para la preparación de esta agua residual sintética.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> Para realizar la preparación de la muestra compuesta de los dos muestreos se calculó el volumen de cada muestra para un volumen total de 7 l.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> Remoción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintéticos reciclable a escala piloto.</p>	

<b>Parámetros fisicoquímicos</b> los parámetros fisicoquímicos del agua residual de los dos muestreos, los cuales consisten en DBO, DQO, sólidos totales, sólidos fijos y sólidos	
<b>Carga Hidráulica</b> Este vertimiento maneja un caudal de 7-9 l/s directamente sobre la quebrada, y sin ningún tipo de tratamiento previo, generando un alto grado de contaminación sobre la fuente hídrica.	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> Este proceso se realizó durante 21 días, con el fin de estabilizar el agua residual sintética y cumplir con los parámetros fisicoquímicos del vertimiento evaluado.
<b>Eficiencia</b> Mediante los resultados de DQO se identifica que la DQO determinada para el primer muestreo realizado el día domingo tuvo una concentración de 186 mg/l, mientras que en el segundo muestreo realizado el día jueves presentó una menor concentración de 180 mg/l lo que demuestra que cuenta con una alta tasa de eficiencia en la remoción del DQO en vermifiltros.	<b>Referencia bibliográfica</b> Moreno, O. D., & Díaz, J. M. (2018). <i>Preparación y composición de agua residual sintética para ser alimentada en vermifiltros a escala laboratorio</i> . Universidad Mariana.

**Tabla 10.** Ficha bibliográfica

<b>5. Nombre del artículo</b> ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA TOHÁ (LOMBRIFILTRO) PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE TINJACÁ- BOYACÁ	<b>Escala</b> Realizar un lombrifiltro a escala laboratorio con el fin determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes y así evaluar los criterios de diseño, como también analizar la calidad del humus generado para posibles usos como fertilizantes.
<b>Tipo de agua</b> Agua residual doméstica, procedentes de los vertidos de la actividad humana domestica	
<b>Volúmenes del reactor</b>	

<b>Criterio</b>	<b>valor</b>
<b>Área</b>	117 m <sup>2</sup>
<b>Altura filtro</b>	1,70 m
<b>Materiales del medio</b>	
<b>Aserrín</b>	20cm
<b>Grava 4-6 mm</b>	25 cm
<b>Grava 10 -20 mm</b>	25 cm
<b>Densidad de lombrices (10000 lom/m<sup>3</sup>, 1,4 g lombriz)</b>	245 kg
<b>Tasa carga hidráulica (TLH)</b>	1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
<b>Tasa de retención hidráulica (TRH)</b>	3 a 4 horas
<b>Modo de alimentación</b>	Continuo
<b>Aclimatación</b>	15 días

### **Tipos de medios**

Al seleccionar los medios de filtro, se debe buscar la permeabilidad hidráulica y la capacidad de adsorción de ese medio en particular, la mala conductividad hidráulica del sistema puede provocar la obstrucción e inundación del sistema, entre los materiales usados se encuentra aserrín y materiales de diferentes granulometrías.

### **Parámetros fisicoquímicos**

Los parámetros fisicoquímicos a evaluar en el presente informe son DQO, DBO, SST Y STD.

#### **Carga Hidráulica**

Según la información recolectada se tiene un caudal de diseño de 245 m<sup>3</sup>/ día, el efluente es vertido a una fuente hídrica superficial.

#### **Tiempo de retención hidráulica**

La tasa de retención hidráulica (HRT) hace referencia al tiempo de contacto de la interacción del agua residual con la columna de suelo en la que residen las lombrices debe ser el adecuado para que las lombrices y los microorganismos lleven a cabo sus procesos físicos y bioquímicos en la las sustancias orgánicas y nutrientes, este tiempo es alrededor de 3 a 4 horas.

#### **Eficiencia**

La eficiencia de remoción es mayor en el lombrifiltro al ser alrededor del 20%, 6%, 10%, 6% más eficiente en remoción de DBO, DQO, SST, STD respectivamente que el geofiltro.

Parámetro	Porcentaje de remoción	
	Lombrifiltro Chile (Lombrifiltro Chile, s.f)	Biofiltro (BIOFILTRO, 2019)
DBO	95 %	90%
Solidos totales	95%	90%
Nitrógeno Total	60 %	70%
Fosforo Total	70%	30%

#### **Referencia bibliográfica**

CASTELLANOS, E. C. (2019). *ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÒMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA TOHÁ (LOMBRIFILTRO) PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE TINJACÁ- BOYACÁ.* UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

	Tomado de: <a href="http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/22771/1/CastroCastelanosElizabeth2019.PDF..pdf">http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/22771/1/CastroCastelanosElizabeth2019.PDF..pdf</a>
--	---

**Tabla 11.** Ficha bibliográfica

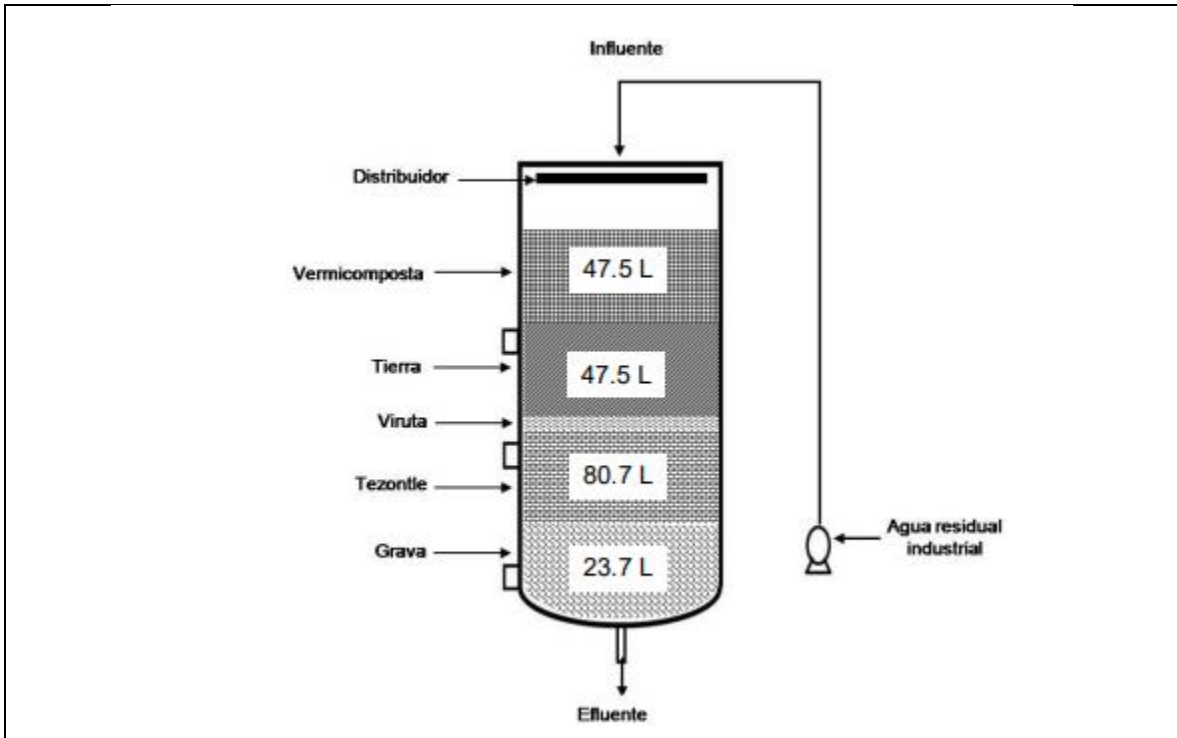
<b>6. Nombre del artículo</b> Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales del camal de Ibarra	<b>Escala</b> Escala de campo aplicable con distintos tanques de distribución.																		
<b>Tipo de agua</b> El agua residual utilizada durante el presente estudio fue agua residual del centro de Faenamiento y Producción de Cárnicos de Ibarra.																			
<b>Volúmenes del reactor</b> <i>Volumen de los sustratos.</i>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Sustratos</th> <th style="text-align: center;">Altura del sustrato (m)</th> <th style="text-align: center;">Volumen calculado (m<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Piedra Pómez</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,8042</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Piedra Bola</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,8042</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Grava</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,8042</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Aserrín y viruta</td> <td style="text-align: center;">0,5</td> <td style="text-align: center;">0,4021</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Suelo de la granja</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,8042</td> </tr> </tbody> </table>		Sustratos	Altura del sustrato (m)	Volumen calculado (m <sup>3</sup> )	Piedra Pómez	0,10	0,8042	Piedra Bola	0,10	0,8042	Grava	0,10	0,8042	Aserrín y viruta	0,5	0,4021	Suelo de la granja	0,10	0,8042
Sustratos	Altura del sustrato (m)	Volumen calculado (m <sup>3</sup> )																	
Piedra Pómez	0,10	0,8042																	
Piedra Bola	0,10	0,8042																	
Grava	0,10	0,8042																	
Aserrín y viruta	0,5	0,4021																	
Suelo de la granja	0,10	0,8042																	
<b>Tipos de medios</b> medio filtrante, se manifiesta que los agregados de roca deben poseer diferentes diámetros, el suelo utilizado y las arenas ayudan a la filtración de aguas residuales y suministran un lecho a los microorganismos que van a favorecer la disminución del DQO, DBO5, Sólidos Disueltos y turbidez																			
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> análisis fisicoquímicos de esta investigación son: DQO, pH, Conductividad eléctrica, Turbidez, Color, Sólidos Totales y Ácidos Húmicos																			
<b>Carga Hidráulica</b> El caudal promedio que tiene el camal es de 2,5 l/s	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> Tiempo de ocho semanas, tomando 120 litros de agua que se recircularon en los Vermifiltros todos los días a las 12h00 pm. El tiempo de residencia del afluente dentro																		



	del reactor es aproximadamente de 4 a 5 horas.
<p><b>Eficiencia</b></p> <p>Los dos tratamientos estudiados fueron eficientes en la descontaminación de aguas residuales, de ellos el Vermifiltro 1 obtuvo los mejores resultados: 96,27% de eficiencia en la disminución de DQO, 64,01% en la remoción de Sólidos Totales, cumpliendo con los límites permisibles para las descargas al sistema de alcantarillado público.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b></p> <p>FLORES, F. E. (2019). <i>EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE VERMIFILTROS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE IBARRA</i>. IBARRA: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Tomado de:  <a href="https://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/533/1/1_Tesis.pdf.pdf">https://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/533/1/1_Tesis.pdf.pdf</a></p>

**Tabla 12.** Ficha bibliográfica

<p><b>7. Nombre del artículo</b></p> <p>Remoción de materia orgánica y toxicidad de aguas residuales de la industria cosmético - farmacéutica con un vermifiltro.</p>	<p><b>Escala</b></p> <p>Este estudio se realizó sobre la tecnología de vermifiltración a escala piloto.</p>
<p><b>Tipo de agua</b></p> <p>El agua residual se obtuvo de una empresa donde se fabrican cremas, enjuagues bucales, así como ungüentos y suplementos alimenticios.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b></p> <p>El AR estudiada contenía pocos sólidos suspendidos y tuvo un promedio de DQO de 16,000 mg/L. Los reactores se llenaron de 1.0 a 1.5 pulgadas de grava, y tenía un volumen de 14 litros cama vacía. TRH de 12 h a 48 h a 37 °C y se aplicaron cargas orgánicas de DQO que van desde 0.2 a 3.5 g/L.día</p>	



**Tipos de medios**

Vermifiltro de acrílico de 120 cm de altura y 55 cm de diámetro, estuvo conformado por cinco capas: una capa de vermicomposta (47.5 L); una capa de tierra de lombriz (humus) (47.5 L); una capa de viruta (12 L); una capa de tezontle (80.7 L) que sirve como medio filtrante donde se desarrolla biomasa y por último una capa de grava (23.7 L), la cual sirve de soporte y además funciona como material permeable que permite la salida del efluente.

**Parámetros fisicoquímicos**

Los principales parámetros analizados fueron: demanda química de oxígeno sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), nitratos (N-NO<sub>3</sub>), nitritos (N-NO<sub>2</sub>) y toxicidad

**Carga Hidráulica**

Para determinar el tiempo de residencia hidráulica se utiliza  $Q = \text{Caudal (6 L/d)}$

**Tiempo de retención hidráulica**

El AR estudiada contenía una concentración de DQO de 1488-6818 mg/L. Se compone de tres sistemas de tratamiento, lodos activados con un TRH de 6 h, filtro biológico y un tratamiento combinado con periodo de aireación de 11 h. Los estudios demostraron que se puede obtener buena calidad en el efluente, utilizando cualquiera proceso con una aireación prolongada (20 h) o un reactor de película fija seguida de lodos activados con tiempo de retención de 11 h.

**Eficiencia**

**Referencia bibliográfica**

<p>DQO (84-98%) y N-NH<sub>3</sub> (84-97%). Con respecto a la toxicidad el tratamiento eliminó el efecto agudo detectado por <i>D. magna</i> y disminuyó para <i>V. fischeri</i>. Con <i>P. subcapitata</i> se detecta reducción de toxicidad pero persiste un efecto crónico de 7.14 UT. El efluente presentó pH neutro y 3.0 mg/L de O<sub>2</sub> que permitió la nitrificación del agua. El incremento de carga orgánica volumétrica disminuyó la eficiencia del tratamiento para cargas mayores a 200 g de DQO/m<sup>3</sup> d. El crecimiento y reproducción de las lombrices también se afectó por el incremento en la carga.</p>	<p>DACASA, F. R. (2012). <i>REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y TOXICIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA COSMÉTICO - FARMACÉUTICA CON UN VERMIFILTRO</i>. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Tomado de: <a href="http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5065/Tesis.pdf?sequence=1">http://132.248.52.100:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5065/Tesis.pdf?sequence=1</a></p>
---	---

**Tabla 13.** Ficha bibliográfica

<p><b>8. Nombre del artículo</b> Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas.</p>	<p><b>Escala</b> Diseño de 3 reactores de vidrio a escala laboratorio.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Se realizaron ensayos experimentales en el cual varió el caudal de las aguas residuales domésticas de 553ml/min a 1005ml/min (La población de la presente investigación fue el total de aguas residuales domésticas del Distrito de Villa el Salvador, Sector 9 Grupo1 (Cruce entre las Av. José Carlos Mariátegui y la Av. María Elena Moyano). La muestra a tomar es de 1560 litros de aguas residuales domésticas que se recolectará de los ductos donde se mezcla el desagüe procedente de los domicilios de Villa El Salvador, sector 9 Grupo1; se debe de considerar que 80 litros se dispondrán para cada vermifiltro con polipropileno (3 biofiltros) lo cual se cambia la muestra de agua por cada repetición según el caudal designado.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> Para los vermifiltros a escala piloto se tuvieron en cuenta ciertos parámetros de diseño tales como: volumen, ancho, largo y profundidad, caudal, tiempo de retención hidráulica. A continuación, se muestran las especificaciones de los reactores.</p>	

Especificación	Reactor
Flujo	Vertical
Forma	Paralelepípedo
Dimensión	Alto: 80cm Largo: 75cm Ancho: 50 cm
Volumen	300 L
Caudal	1005ml/min
	708ml/min
	553ml/min
TRH	4 h 48min
	7 h 3min
	9h 2min
Lombriz	Eisenia Foetida

Fuente: Elaboración propia, 2019.

### Tipos de medios

Filtro aerobio compuesto por medios filtrantes tales como:

Capa1: compost con Lombrices Eisenia Foetida. Capa2: aserrín. Capa3: Grava de 8mm. Capa4: Grava de 15mm. Capa5: Piedra bola. Capa 6: Polipropileno. Que sirven de soporte para formación de biopelícula que conjuntamente con E. Foetida oxidan los contaminantes de las aguas residuales domésticas

### Parámetros fisicoquímicos

En la presente investigación se recolecto el agua residual domestica durante 1 semana 3 veces al día, con la ayuda de una bomba de medio caballo se extrae el agua contaminada hacia un tanque de 2500L de capacidad donde es almacenado y homogenizado. De lo recolectado se toma muestras de agua residual domestica con la finalidad de determinar las concentraciones iniciales de los parámetros fisicoquímicos tales como: DBO5, DQO, pH, CE, SST, SDT, turbiedad, potencial redox y temperatura. Se usaron recipientes de plástico esterilizados debidamente rotulados. Los parámetros fueron medidos en el laboratorio de biotecnología de la universidad Cesar Vallejo para ello se realizó el muestreo, transporte y conservación de manera adecuada.

### Carga Hidráulica

En esta investigación se evidencia la eficiencia del vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno en la remoción de carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas. Se muestran eficiencias de remoción máximo de 94.5% ( 169.2mg/l) de DBO5 y 94.5% (459mg/l) de DQO en el vermifiltro 4 utilizando 10000 lombrices/m3 con un caudal de 553ml/min (y carga hidráulica de 0.012

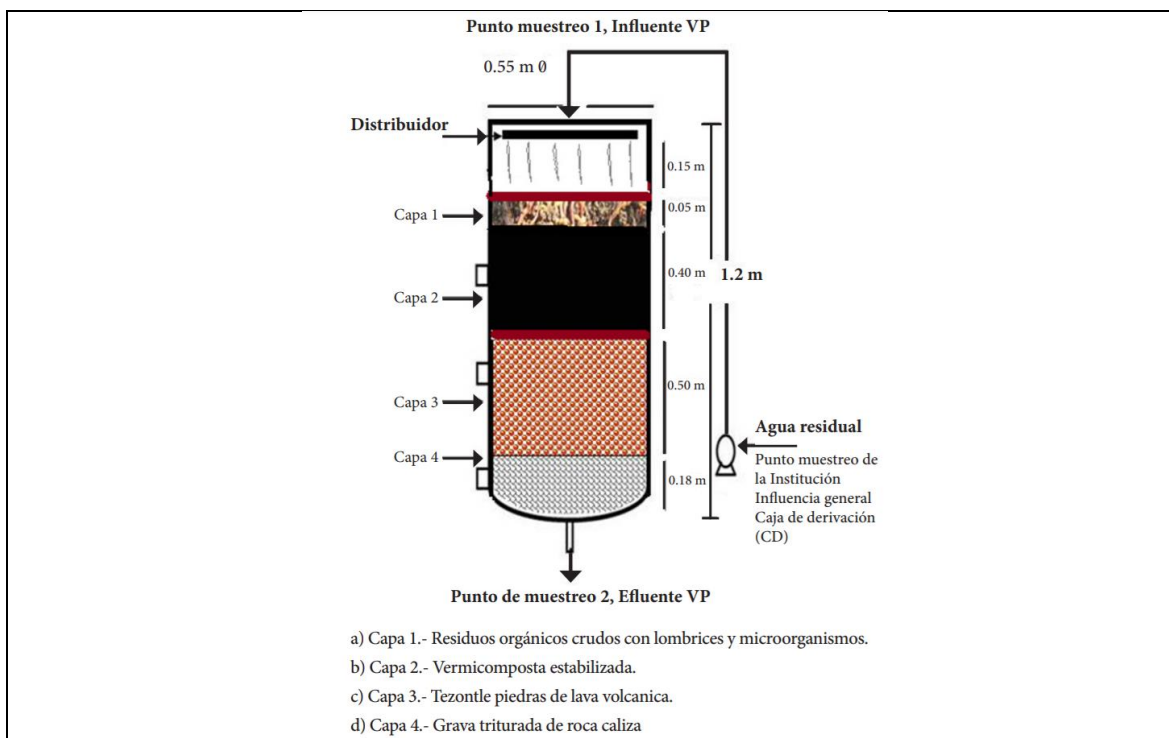
### Tiempo de retención hidráulica

Se trabajó con 3 tiempos de retención Hidráulica se aplica por igual a todos los filtros biológicos, los TRH aplicados son de 4h58min, 7h 3min y 9h 2min. También se trabajó con el factor caudal, se aplicaron los siguientes: 1005ml/min, 708ml/min y 553ml/min de la misma manera a todos los filtros.

<p>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>*h) en un tiempo de retención hidráulica de 9.03h</p>	
<p><b>Eficiencia</b>  Las lombrices y la biopelícula en esta investigación son eficientes en la remoción y reducción de material particulado y carga orgánica. A su vez, el tiempo de retención hidráulica (TRH) en esta investigación demuestra que a mayor TRH y con un menor caudal (Qw) los agentes como bacterias y lombrices actúan mejor en la remoción y reducción de material particulado y carga orgánica; por lo cual se evidenció mayor eficiencia de remoción empleando TRH3 de 9.03h con un caudal de 553ml/l en el cual removió 94.5% de DBO5, 94.8% de DQO, 85% SST y 62.4 de TDS logrando reducciones de DBO5,DQO,SST,TDS en 9.8mg/l, 25mg/l,15 mg/l y 694 mg/l respectivamente.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b>  Barragan Ponce, R., &amp; Espinoza Fernandez, A. M. (2019). <i>Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas</i>. LIMA – PERÚ: ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA. Tomado de: <a href="http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40253/Espinoza_FAM-Barragan_PR.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40253/Espinoza_FAM-Barragan_PR.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a></p>

**Tabla 14.** Ficha bibliográfica

<p><b>9. Nombre del artículo</b>  Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales</p>	<p><b>Escala</b>  Se diseñó e instaló un vermifiltro piloto (VP) para el tratamiento del agua y evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes por vermifiltración. El estudio fue realizado a escala laboratorio.</p>
<p><b>Tipo de agua</b>  El VP se alimentó con agua de servicios sanitarios mediante flujo continuo. El agua residual (AR) utilizada provenía de los servicios sanitarios de una institución, en la que se encuentran 10 edificios de oficinas y un comedor, que albergan una población de cerca de 1,000 personas. El AR se capta a través de toda la institución por medio de una red de drenaje, que confluye por gravedad a un colector principal, que desemboca en una caja de derivación (CD), donde se recibe el influente general que posteriormente es tratado en una planta de aeración extendida. La CD es el punto de muestreo principal para la caracterización del influente general de la institución. El VP se colocó a una distancia de 3m de la CD.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b>  El VP consistió de un reactor de material acrílico, con una abertura total en la parte superior que permitía el empaquetado y alimentación del sistema. Las dimensiones del reactor fueron: 0.55 m diámetro x 1.1 m altura; volumen de 0.26 m<sup>3</sup> y área superficial de 0.24 m<sup>2</sup>. El reactor tenía en el fondo una media esfera, con una altura de la columna de 0.18 m, se colocó también una válvula de salida de PVC para la toma de muestra y el desalojo del efluente.</p>	



### Tipos de medios

El material filtrante orgánico seleccionado fue la Vermicomposta, la cual provenía de un sistema de vermicomposteo, elaborada con base en una mezcla de lodo residual y hojas secas de árboles de ornato del género *Ficus* sp. Adicionalmente sobre la vermicomposta se colocó una capa de residuos orgánicos sólidos (ROS), conformados por una mezcla de lodo residual y residuos de comida (hortalizas y fruta), en esta capa se inocularon lombrices de tierra del género *Eisenia* sp. El material filtrante inorgánico seleccionado fue el tezontle o roca volcánica. El tezontle es uno de los sustratos más usados en viveros, ya que posee excelentes características de filtrabilidad.

CUADRO 1. Características de los materiales filtrantes

Materiales	Granulometría	Densidad aparente	% Porosidad		TRH
	mm	g·m <sup>-1</sup>	Micro	Macro	días
Vermicomposta	>5 a <10	0.52	70	30	0.57
Tezontle	12.7 - 25	0.68	17	83	0.23

### Parámetros fisicoquímicos

Para la evaluación de la eficiencia del VP se tomó una muestra compuesta al final de cada etapa. Las muestras se tomaron en el punto 1 del influente y el punto 2 del efluente del VP y se calcularon los porcentajes de remoción. Los parámetros evaluados fueron: demanda química de oxígeno (DQO); demanda biológica de oxígeno (DBO5); sólidos suspendidos totales (SST); nitrógeno total (N-total), nitrógeno amoniacal N-NH<sub>4</sub>, nitritos N-NO<sub>2</sub> y nitratos N-NO<sub>3</sub> y fósforo total (P-total).

### Carga Hidráulica

El estudio se dividió en tres etapas, con tres tasas de filtración (TF) y tres cargas orgánicas superficiales (COS). Se evaluaron

### Tiempo de retención hidráulica

El TRH más largo se obtuvo con la vermicomposta (0.57 días) y el TRH más corto fue el del tezontle con (0.23 días)

<p>el influente y efluente con métodos convencionales de calidad del agua. (18.5 x 103 NMP·100 mL-1 a &lt; 3 NMP·100 mL-1).</p>	
<p><b>Eficiencia</b> (92 % DQO, 99 % DBO, 97 % SST)</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b></p> <p>Cardoso, L., Ramírez, E., &amp; Garzón, M. (2010). <i>EVALUACIÓN DE UN VERMIFILTRO PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</i>. MÉXICO. C. P: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Tomado de:  <a href="https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54073283/vermifiltros.pdf?1502047722=&amp;response-content-disposition=inline%3B+filename%3DVermifiltros.pdf&amp;Expires=1607037962&amp;Signature=TsVET4Z~mf9fFNAjhQG7JH1KTXO7N~sH-z83JvdlFrJxkwaQFITUL7yMLTeqNiZweUIdvCqyRSH5UFP~uA6ZlIgYSIU9IbXm7kdbNAmM4TE8ahyu75wcZ9uDotz4mC-f0r2HOaDpqqAHSFQcV2LwIuEKCTHCKlqjPYNtew966bf4QnwNyL0peMlPjjxili~7btmc4Wf2TBRUYTA19DwqYFIbcn8ouRImQN8QiXhPwaoyquo0kbvrDF6VAZTot~1Oc0CNvLcrlJtdz1yUe4y9PpKkjb7ID~VjbA1Q94-LUjUgvWZZA5zAJbo182NtDCyXUfZyO-jrWQYKrO8msA53Fw__&amp;Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA">https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54073283/vermifiltros.pdf?1502047722=&amp;response-content-disposition=inline%3B+filename%3DVermifiltros.pdf&amp;Expires=1607037962&amp;Signature=TsVET4Z~mf9fFNAjhQG7JH1KTXO7N~sH-z83JvdlFrJxkwaQFITUL7yMLTeqNiZweUIdvCqyRSH5UFP~uA6ZlIgYSIU9IbXm7kdbNAmM4TE8ahyu75wcZ9uDotz4mC-f0r2HOaDpqqAHSFQcV2LwIuEKCTHCKlqjPYNtew966bf4QnwNyL0peMlPjjxili~7btmc4Wf2TBRUYTA19DwqYFIbcn8ouRImQN8QiXhPwaoyquo0kbvrDF6VAZTot~1Oc0CNvLcrlJtdz1yUe4y9PpKkjb7ID~VjbA1Q94-LUjUgvWZZA5zAJbo182NtDCyXUfZyO-jrWQYKrO8msA53Fw__&amp;Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA</a></p>

**Tabla 15.** Ficha bibliográfica

<p><b>10. Nombre del artículo</b> Análisis de la fibra de coco como material filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos “Izurieta” ubicada en el Cantón Cevallos provincia de Tungurahua.</p>	<p><b>Escala</b> La experimentación se desarrolló en el montaje de tres vermifiltros a escala del laboratorio que contenían diferentes estratos con el fin de determinar el mejoramiento del tratamiento para las aguas residuales domésticas.</p>
<p><b>Tipo de agua</b></p>	

El proceso de experimentación se inició tomando la muestra de agua residual y colocándola en el Tanque Homogeneizador, mezclada la muestra y por gravedad, el agua a ser tratada fue conducida hacia el Tanque Sedimentado para retener sólidos y otros materiales que puedan afectar el buen funcionamiento del Biofiltro.

### Volúmenes del reactor

Para realizar los análisis físico-químicos, se tomó un volumen aproximado de 4 litros de muestra de agua residual en recipientes de vidrio ámbar y plástico previamente lavado. Todos los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Control de Calidad, EP – EMAPA – A. Por facilidad constructiva se ha asumido un volumen de medio filtrante igual a 35 lt. Reduciendo mayor cantidad de vacíos para poder tomar como referencia el valor de TRH de un medio filtrante empacado.

### Tipos de medios

La remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante.

### Parámetros fisicoquímicos

Se analizó el pH, la turbidez, el DBO5, el DQO, el TPH, el SST y los Sólidos totales.

### Carga Hidráulica

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
Determinación del Caudal Medio Diario Utilizado en la Lavadora y Lubricadora de Autos "Izurieta"					
Realizado por: Navas Franco Alex Neptali			MEDIDOR: Volumétrico ISO 4064 - CLASE B		
Periodo: 18/04/2017 - 28/04/2017			HOJA N°: 1		
DIA	FECHA	HORA	LECTURA	CONSUMO m³/d	OBSERVACIONES
MARTES	18/07/2017	08H15	537.7642	1.9317	Producción Normal
MIÉRCOLES	19/07/2017	08H15	539.6959		
JUEVES	20/07/2017	08H15	540.0277	3.4948	Producción Normal
VIERNES	21/07/2017	08H15	543.5225		
SABADO	22/07/2017	08H15	545.5037	3.4658	Producción Normal
LUNES	24/07/2017	08H15	548.9695		
MARTES	25/07/2017	08H15	550.5831	1.5168	Producción Normal
MIÉRCOLES	26/07/2017	08H15	552.0999		
JUEVES	27/07/2017	08H15	554.3756	1.671	Producción Normal
VIERNES	28/07/2017	08H15	556.0466		
<b>CAUDAL MEDIO DIARIO=</b>				<b>2.41602</b>	<b>m³/d</b>

Elaborado por: Alex Navas Franco, 2017

### Tiempo de retención hidráulica

"UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO" FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>MATERIAL</b>	Fibra de Coco
<b>TIEMPO DE RETENCIÓN</b>	5.55 horas
<b>COLOR</b>	Gris palta
<b>OLOR</b>	Se reduce
<b>OBSERVACIONES</b>	Después del proceso del filtrado se pudo observar un cambio de color negro a un color gris plata producido por la retención de partículas en el filtro además la disminución del olor de los detergentes y aceites, cambiando a simple vista y viendo un resultado favorable.

Elaborado por: Alex Navas Franco, 2017

### Eficiencia

Los resultados arrojaron que la eficiencia de este Biofiltro experimental fue de 53.53% en la remoción de contaminantes.

"UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO" FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PARAMETROO	MUESTRA EN DIAS	UNIDAD	LIMITE	VALOR DEL ANÁLISIS	% DE EFICIENCIA
DBO5	M 80 Dias	mg/l	250	228	91.2
	M 90 Dias	mg/l	250	194	77.6
DQO	M 90 Dias	mg/l	500	401	80.2
ACEITES Y GRASAS	M 70 Dias	mg/l	70	0.089	0.1
	M 80 Dias	mg/l	70	0.063	0.1
	M 90 Dias	mg/l	70	0.058	0.1

Elaborado por: Alex Navas Franco, 2017

### Referencia bibliográfica

Franco, A. N. (2017). *ANÁLISIS DE LA FIBRA DE COCO COMO MATERIAL FILTRANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA LAVADORA Y LUBRICADORA DE AUTOS "IZURIETA" UBICADA EN EL CANTÓN CEVALLOS PROVINCIA DE TUNGURAHUA.* UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. Tomado de:

Tabla 16. Ficha bibliográfica

<b>11. Nombre del artículo</b>	<b>Escala</b> Escala de laboratorio
--------------------------------	--



<p>EFFECTOS DE Eisenia foetida y Eichhornia crassipes EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, NUTRIENTES Y COLIFORMES EN EFLUENTES DOMÉSTICOS</p>	
<p><b>Tipo de agua</b>  agua residual del sistema de alcantarillado del municipio de San Juan del Cesar, proveniente del pozo de inspección, ubicado a la entrada de la laguna de estabilización del municipio</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b>  El lombrifiltro, se construyó con láminas de vidrio de 1m de altura y 0,5m de ancho. El sistema, se diseñó con base en la metodología citada por Ramón et al. (2015), ubicando - en la parte inferior-, un lecho de soporte de 30cm, constituido por 15cm de grava gruesa (<math>\phi=5\text{cm}</math>) y 15cm de grava fina; en la parte superior, se dispuso una capa de aserrín de 20cm, mezclada con 5kg de <i>E. foetida</i>. La entrada del efluente al sistema, se hizo por la parte superior, a través de aspersión (Parra &amp; Chiang, 2014), empleando tubería de PVC de <math>\frac{1}{2}</math> pulgada de diámetro, perforada con orificios de 5mm de diámetro, cada 3cm. Los ensayos, se realizaron empleando un tiempo de retención hidráulica de 24h y un caudal de 0,125L/min, proveniente de un tanque de almacenamiento de 250L, el cual, actuó como un decantador primario.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b>  Se desarrolló aplicando dos tratamientos individuales T1 y T2, empleando un biofiltro dinámico aerobio de flujo vertical, para las pruebas con <i>E. foetida</i> y un sistema de flujo horizontal con plantas flotantes, para los ensayos con <i>E. crassipes</i>. Un tercer tratamiento T3 consistió en analizar la capacidad combinada de las dos especies, convirtiendo las unidades en un sistema en serie biofiltro flujo vertical (lombrifiltro) - biofiltro flujo horizontal (sistema con plantas flotantes)</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b>  Se analizaron concentraciones promedio de materia orgánica, medida como Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Turbidez, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), nutrientes expresados en términos de las concentraciones de Nitrógeno Total y Fosfatos; patógenos, medidos como coliformes totales y <i>E. coli</i>; temperatura, Oxígeno Disuelto (OD) y pH.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b>  Se cuenta con un caudal de 0,125L/min, proveniente de un tanque de almacenamiento de 250L, el cual, actuó como un decantador primario.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b>  El presente estudio se desarrolló empleando un tiempo de retención hidráulica de 24h.  Los experimentos, se realizaron durante el periodo comprendido entre el 15 de marzo al 30 de abril de 2015, tiempo en el que se analizó el efecto de cada tratamiento, sobre las variables objeto de estudio.</p>
<p><b>Eficiencia</b></p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b>  Mendoza, L. V., &amp; Molina, N. F. (2016).</p>

<p>Las eficiencias de materia orgánica medida, como DQO y DBO<sub>5</sub>, son inferiores a las publicados por Montoya <i>et al.</i> (2010), empleando humedales con macrófitas, cuyos porcentajes medios fueron de 97,31 y 100%, con <i>Canna limbata</i>; 94,49 y 99,09%, con <i>Heliconia psittacorum</i>; 97,39 y 99,45%, con <i>Phragmites</i> sp, para cada parámetro, respectivamente. De la misma manera, la DBO<sub>5</sub> se redujo, en porcentajes similares a los obtenidos por Rodríguez <i>et al.</i> (2010), utilizando humedales artificiales con <i>E. crassipes</i>, 86% y <i>Lemna minor</i>, 58%, mientras que el tratamiento con <i>E. crassipes</i>, redujo en un menor porcentaje que <i>Phragmites australis</i> (95,7%) y <i>Typha dominguensis</i> (90,2%), las concentraciones de DQO, en el efluente residual doméstico</p>	<p>EFFECTOS DE <i>Eisenia foetida</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, NUTRIENTES Y COLIFORMES EN EFLUENTES DOMÉSTICOS. Revista U.D.C.A Actualidad &amp; Divulgación Científica.</p>
--	---

**Tabla 17.** Ficha bibliográfica

<p><b>12. Nombre del artículo</b> La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias</p>	<p><b>Escala</b> Se instaló un primer sistema a escala real.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Aguas residuales sanitarias y municipales, tratamiento del efluente de una industria agroalimentaria, tratamiento del estiércol de puerco en zonas saturadas en nitrógeno y fósforo, tratamiento del estiércol de puerco en zonas no saturadas y aguas residuales sanitarias en clima subtropical.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> El sistema está constituido por una fosa séptica convencional de 4 m<sup>3</sup> (tratamiento primario) seguida de un biofiltro de 7 m<sup>3</sup> (tratamiento secundario). Las aguas tratadas son descargadas a un pozo de infiltración de 30 m<sup>2</sup>.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> El proceso permite tratar simultáneamente efluentes líquidos y gaseosos utilizando medios orgánicos. La tecnología se basa en la capacidad que tienen ciertos medios orgánicos de adsorber y absorber diferentes sustancias contaminantes y de favorecer la implantación de microorganismos capaces de biodegradarlas en CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, y H<sub>2</sub>O (Bélangier <i>et al.</i>, 1987). El medio filtrante está constituido esencialmente de virutas de madera y fibras orgánicas (p.e. de turba de sphaigne). Su formulación (receta) es establecida en función de las características del efluente a tratar y de los objetivos de</p>	

descarga. El medio orgánico dura aproximadamente cinco años y puede ser reutilizado como mejorador de suelos agrícolas	
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> Se analizaron concentraciones promedio de DQO <sub>5</sub> , SST, P, NTK, coliformes y N-NH <sub>4</sub>	
<b>Carga Hidráulica</b> Este sistema trata 125 m <sup>3</sup> /d de aguas residuales generadas por un pequeño municipio de 225 habitantes.	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> Las aguas residuales alimentadas en la superficie del biofiltro percolan a través del medio filtrante, en donde son tratadas mediante cuatro mecanismos naturales que actúan simultáneamente: 1) filtración lenta y pasiva; 2) absorción, adsorción e intercambio iónico; 3) biodegradación, y 4) desinfección. Dicho proceso tarda aproximadamente 24 horas hasta la fase final.
<b>Eficiencia</b> Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia promedio del sistema es de 96% para la DBO <sub>5</sub> , 99% para los SST y superior a 90% para el N-NTK.	<b>Referencia bibliográfica</b> Garzón-Zúñiga, M. A., Buelna, G., & Moeller Chávez, G. E. (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. <i>Tecnología y ciencias del agua</i>

**Tabla 18.** Ficha bibliográfica

<b>13. Nombre del artículo</b> Aplicación de vermifiltros para reducir el DQO y DBO del agua residual de un Laboratorio de Análisis Químico, 2018.	<b>Escala</b> Se diseñaron dos vermifiltros de flujo vertical a escala de laboratorio.
<b>Tipo de agua</b> Aguas residuales combinadas con restos líquidos de insumos químicos que son vertidas directamente a la red del alcantarillado.	
<b>Volúmenes del reactor</b> Se consideraron las dimensiones del recipiente circular seleccionado que serán 0,26m de diámetros con una altura de 0,45cm colocado la placa antioxidante en la parte interna del cuello de la botella, y se estabilizo en una estructura elaborada de madera, la cual se pintó y fijo bien para no interrumpir el proceso de tratamiento, antes de colocar las siguientes componentes como la fibra de coco y aserrín fueron enjuagados con fines de humedecerlos, luego se aplicó en la parte inferior de abajo hacia arriba una capa inferior de piedra zeolita con una cantidad de un kilogramo aproximadamente, con tamaños de partículas de 10mm y 2,75mm hasta una profundidad de 0,10m. Seguido una capa superior de 600 gramos de fibra de coco, con un volumen de 4cm. Se colocó también 600 gramos de aserrín con un 29 volumen de 4cm. Se garantizó que el material quedé	

compactado y distribuido de manera manual y finalmente 600gr de lombrices californianas ( <i>Eisenia fétida</i> )	
<p><b>Tipos de medios</b></p> <p>Son los agregados de distintos diámetros de arena, fibra de coco, aserrín u otro agregado que contribuyen en la filtración del agua residual, que proveen un lecho para microorganismos favoreciendo la disminución de la demanda química de oxígeno, 15 demanda biológica de oxígeno, sólidos disueltos y turbidez. A medida que el agua residual pasa por el medio filtrante se forma una capa de biofilm, la cual es directamente proporcional al volumen tratado, que constituye del sistema geológico y microbiológico de filtración (Manychi y kadzungura, 2013).</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b></p> <p>Para lograr la mejora de la calidad de las propiedades fisicoquímicas deseadas en el tratamiento de las aguas residuales se midieron los siguientes parámetros más importantes de tesis como el DQO, DBO, por otro lado también se realizó otros parámetros como Turbidez, Conductividad Eléctrica, Temperatura, STS y pH para un mejor monitoreo del sistema. Asimismo se realizó análisis de la muestra de agua, antes del tratamiento y después del tratamiento, con la finalidad de comprobar cuanto ha reducido el DQO y DBO de los efluentes, y que tan eficiente es la aplicación de vermifiltros</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b></p> <p>La fase experimental continuó durante diez semanas con una tasa de carga hidráulica de 0,65 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>. Los resultados indicaron que posee la máxima capacidad de degradación orgánica y de nitrógeno durante el proceso de tratamiento y que estaba trabajando de manera constante sin signos de obstrucción, pero el vermifiltro sin macrófita se obstruyó durante las primeras semanas de su operación.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b></p> <p>Para 3 litros con el agua residual, debe pasar dosificada por goteo, hacia el vermifiltro, garantizando así la velocidad del flujo de aproximadamente 3,5 ml por minuto y un tiempo de retención de 14 horas.</p>
<p><b>Eficiencia</b></p> <p>Se logró tener una eficiencia significativa de remoción de los parámetros fisicoquímicos de DQO y DBO en un 76.43% y 60.46 % del vermifiltro, del 93.3% para NH<sub>4</sub> + -N y del 58.2% para el nitrógeno total.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b></p> <p>Camargo, S. P. (2018). <i>Aplicación de vermifiltros para reducir el DQO y DBO del agua residual de un Laboratorio de Análisis Químico</i>. LIMA – PERÚ: Universidad César Vallejo .</p>

**Tabla 19.** Ficha bibliográfica

<p><b>14. Nombre del artículo</b></p> <p>VERMIFILTRACIÓN CON LOMBRIZ ROJA (<i>Eisenia foetida</i>) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</p>	<p><b>Escala</b></p> <p>Se llevaron a cabo la construcción y análisis de la eficiencia de un vermifiltro a escala piloto para tratar aguas residuales domésticas</p>
<p><b>Tipo de agua</b></p>	

los vermifiltros representan una tecnología eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas y agroindustriales, ya que diversos estudios experimentales se ha demostrado el potencial de las lombrices Eisenia foetida para la eliminación de DBO, Sólidos Suspendidos Totales, DQO y microorganismos patógenos presentes en el agua residual, la cual después de ser tratada puede ser reutilizada para el riego en áreas agrícolas y/o vertida a cuerpos de agua naturales cumpliendo con las normas ambientales vigentes.

**Volúmenes del reactor**

El vermifiltro está compuesto por 4 capas, la primera capa está formada por residuos orgánicos en proceso de degradación y se caracteriza por la alta actividad biológica que se lleva a cabo en ella debido a la acción degradadora de las lombrices Eisenia foetida y microorganismos degradadores, mientras que la segunda capa está formada por vermicomposta previamente estabilizada, la tercera capa y cuarta capa están formadas por materiales inorgánicos como roca volcánica y grava triturada, respectivamente. En la parte superior e inferior del vermifiltro deben instalarse tubos de PVC para el ingreso del afluente y salida del efluente de agua residual (Loro, 2018). Asimismo, según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016), menciona en la Norma OS090 que un sistema de biofiltración debe tener una pendiente de 2% con el fin de que haya una correcta aireación dentro del sistema de vermifiltración.

**Tipos de medios**

Medios filtrantes inorgánicos, por donde percola el agua residual. En el medio filtrante orgánico se llevan a cabo procesos de degradación de materia orgánica del agua residual, por parte de las lombrices Eisenia foetida y como resultado también se obtiene humus, el cual puede ser posteriormente usado como abono natural en la agricultura.

**Parámetros fisicoquímicos**

Los parámetros a evaluar son:

<b>Parámetro</b>
pH
Temperatura (°C)
DBO
DQO
Sólidos Suspendidos Totales
Nitrógeno Total

Fuente: Meiyen et al (2010)

**Carga Hidráulica**

Depende del volumen de agua residual a tratar, es recomendable realizar la mezcla al menos una vez por semana con una carga hidráulica de 0.012 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h

**Tiempo de retención hidráulica**

En el desarrollo del proyecto, se empleó un tiempo de retención hidráulica de 24h, para todo el proceso de vermifiltración en aguas residuales domésticas y agroindustrial.

**Eficiencia**

Se llevó a cabo la construcción y análisis de la eficiencia de un vermifiltro a escala piloto para tratar aguas residuales

**Referencia bibliográfica**

Sánchez, G. M. (2020). VERMIFILTRACIÓN CON LOMBRIZ ROJA (Eisenia foetida) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS

domésticas y se obtienen los siguientes resultados:

Parámetro	Porcentaje de remoción (%)
pH	7.27 – 7.79
Temperatura (°C)	22.5 – 24.5
DBO	54.78 – 66.36 %
DQO	47.3 – 64.7%
Sólidos Suspendidos Totales	57.18 – 77.90 %
Nitrógeno Total	7.63 – 14.90 %

RESIDUALES. Lima – Perú: Universidad Científica del Sur. Tomado de: [https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1412/TB-Rom% c3% a1n% 20G.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1412/TB-Rom%c3%a1n%20G.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**Tabla 20.** Ficha bibliográfica

<p><b>15. Nombre del artículo</b>          REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS MEDIANTE UN PROCESO DE VERMIFILTRACIÓN Y JACINTO DE AGUA (EICHHORNIA CRASSIPES) DEL ASENTAMIENTO HUMANO LOMAS DE ZAPALLAL – DISTRITO DE PUENTE PIEDRA – LIMA</p>	<p><b>Escala</b>          Construcción de un vermifiltro a escala real para Jacinto de agua (Eichhornia Crassipes) del asentamiento humano lomas de Zapallal</p>
<p><b>Tipo de agua</b>          Tratamiento de aguas residuales domésticas, descarga incontrolada de aguas grises altamente contaminada con patógenos y sustancias orgánicas e inorgánicas expuestas en calles y espacios abiertos origina gran contaminación del ambiente, mal olor y brote de enfermedades.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b>          Esta investigación se inició diseñando seis columnas de láminas de vidrio, tres de ellas con dimensiones de 65cm de altura x 20cm2 de ancho, su posición de funcionamiento fue vertical; las otras tres columnas de láminas de vidrio con dimensiones de 60 cm2 dividido en cuatro partes con posición de funcionamiento de manera horizontal. Las seis columnas fueron divididas en tres estudios pilotos de tal manera de que en cada estudio piloto constó de una columna de lámina de vidrio posicionada de manera vertical y la otra columna de lámina de vidrio fue adaptada de forma horizontal. El propósito del estudio de la investigación a través de los tres estudios pilotos fue determinar cuál de las tres columnas pilotos de vermifiltración fue la más apropiada para el tratamiento de agua residual doméstica.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b>          En su diseño de vermifiltración para tratar aguas residuales se recomienda lechos filtrantes, para esto se usó grava, arena, aserrín y lombriz (Eisenia fetida). (Samal, Dash, y Bhunia 2017) plantea la integración de filtración por macrófitos con el fin de potenciar el sistema de vermifiltración. (Singh et al. 2019) la vermifiltración unido con macrófitas son las mejores tecnologías sostenibles, naturales y ecológicas para el tratamiento y reutilización de aguas residuales.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b>          La toma de muestras de los parámetros fisicoquímicos son: DBO, DQO, SST, Aceites y Grasas y Coliformes Termotolerantes, para realizar el seguimiento respectivo.</p>	

<p><b>Carga Hidráulica</b> Una vez culminada la etapa de adaptación del vermifiltro se procedió con la recolección 36 litros de agua residual y con una frecuencia inter diaria, este volumen de agua residual recolectado se dispuso en un recipiente (balde) al mismo que se adaptó una manguera que repartía como un conducto en forma de goteo hacia los tres vermifiltros pilotos</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> El flujo de agua fue de 12 lt/300 minutos en cada una de las tres columnas piloto de los vermifiltros; la retención hidráulica en la columna 01 fue de 110 minutos, en la columna 02 fue de 130 minutos mientras que en la tercera columna piloto de vermifiltración fue de 90 minutos. (Singh, Bhunia, y Dash 2018) manifiesta que el tiempo de retención hidráulica es clave del proceso responsable del tratamiento de compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.</p>
<p><b>Eficiencia</b> Los resultados obtenidos de este trabajo experimental fueron positivos ya que se logró la reducción de los parámetros de hasta 94.4% de Aceites y Grasas, 45.8% de Coliformes Termotolerantes, 82.2% de DBO, 64.8% de DQO, 94.9% de SST y se logró mantener dentro del rango establecido por la norma a los parámetros de pH y Temperatura.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Rivera, R. J. (2020). “REMOCIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS MEDIANTE UN PROCESO DE VERMIFILTRACIÓN Y JACINTO DE AGUA (EICHHORNIA CRASSIPES) DEL ASENTAMIENTO HUMANO LOMAS DE ZAPALLAL – DISTRITO DE PUENTE PIEDRA – LIMA”. Lima - Perú: UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE . Tomado de: <a href="https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26448/Tesis%20final-Ronal%20Castillo-%20Vermifiltracion.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26448/Tesis%20final-Ronal%20Castillo-%20Vermifiltracion.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a></p>

**Tabla 21.** Ficha bibliográfica

<p><b>16. Nombre del artículo</b> Estudio de la influencia de la tasa hidráulica en la biodegradación de aguas residuales domésticas tratadas por sistemas no convencionales de vermifiltración</p>	<p><b>Escala</b> La metodología utilizada se basó en el estudio de sistemas de vermifiltración a escala laboratorio por 70 días.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Aguas residuales domésticas con sistemas económicos y no convencionales como la vermifiltración.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> El modelo experimental estuvo constituido por 3 columnas fabricadas de botellas PET (Tereftalato de Polietileno) de 6 cm de diámetro y 55 cm de altura. Las dimensiones descritas fueron adoptadas en función a la bibliografía referencial (Taylor et al., 2003; Zhao et al., 2012; Arora et al., 2014a; Vizcaíno y Fuentes, 2016;). Cada columna se dividió en 3 capas. La altura de cada capa representa un porcentaje de la altura referencial</p>	

<p>de 80 cm obtenida de los valores descritos en la Tabla 2-2, la capa activa representa al 12,5% de la altura referencial (10 cm), la capa media el 25% (20 cm) y la capa de soporte el 30% (25 cm). Los materiales de cada capa fueron seleccionados según recomienda la bibliografía, Miranda, (2005) y Krishnasamy et al., (2013) son los más frecuentes y de facilidad de adquisición. La capa inferior o capa de soporte fue de grava (<math>\phi = 1</math> a 2,5 cm) con una altura de 25 cm, la capa media fue de arena (<math>\phi = 0,1</math> a 0,2 cm) con una altura de 20 cm.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> El medio filtrante brinda protección y regulación de temperatura, estas lombrices pueden soportar condiciones extremas de invierno y verano (Cardoso et al., 2011; Arora y Kazmi, 2015). La temperatura influye tanto en la actividad microbiana como en el metabolismo de las lombrices, condición que puede afectar un 10 % la actividad enzimática del sistema (Arora y Kazmi, 2015). La humedad otro factor clave para el establecimiento de las lombrices, encontrándose que bajo condiciones extremas esta fluctúa entre 40 a 90%, siendo el rango óptimo entre 60 a 90%.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> Operacionalmente, los vermifiltros aplicados para residuos líquidos domésticos, requieren el conocimiento, monitoreo y control de las condiciones idóneas para la supervivencia y crecimiento de las lombrices (humedad, pH y temperatura), tasas hidráulicas (<math>1</math> a <math>2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}</math>), carga orgánica (<math>0,1</math> — <math>0,8 \text{ kg de DBO}_5/\text{m}^2\text{d}</math> y <math>0,1</math> — <math>0,6 \text{ kg de DQO}/\text{m}^2\text{d}</math>) y carga de nutrientes (<math>20</math> - <math>120 \text{ g de N}/\text{m}^2\text{d}</math> y <math>2,5</math> - <math>11,2 \text{ g de P}/\text{m}^2\text{d}</math>) (Hughes et al., 2007; Krishnasamy et al., 2013; Arora et al., 2014a; Arora et al., 2014b; Velasco, 2015).</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Este parámetro es la relación del volumen de agua residual que se va a tratar en el área superficial del filtro en una unidad de tiempo. La carga hidráulica de <math>2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}</math> ha demostrado ser la más eficiente en eliminación de materia orgánica (94% en DQO y 96% en DBO5) debido al aumento de la actividad simbiótica entre lombrices y microorganismos aerobios que aceleran la degradación y la que reporta una mayor cantidad de nitratos (<math>45 \text{ mg/L NO}_3\text{--N}</math>) en su efluente, consecuencia de la actividad microbiana en presencia de las lombrices, pero esta carga hidráulica incrementa los fosfatos en un 400% por la mineralización rápida atribuida a la acción enzimática y microbiana de las lombrices (Kumar et al., 2014).</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> Para este proceso se necesita como mínimo un tiempo de retención de 0,2 horas; mientras que los tiempos de retención de los humedales construidos son de aproximadamente de 5 días. El tiempo de retención hidráulica se valoró semanalmente con un cronómetro estándar. Los datos de humedad, pH y temperatura se evaluaron <i>in situ</i> 3 veces al día en forma continua, a partir del inicio de la operación de las 3 columnas.</p>
<p><b>Eficiencia</b> La estrategia de riego intermitente al respecto a riego constante aumenta las</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> PAZMIÑO, C. E. (2018). "ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA TASA</p>



<p>eficiencias de eliminación de materia orgánica medida como Demanda Química de Oxígeno (DQO) en un rango de 26,4 a 38,7%, nitrógeno proveniente del amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en un rango entre 40 a 45% y fósforo total (PT) en un rango entre 13,4 a 16,2%. Esta condición depende de la estrategia de riego que se utilice, siendo la que considera 8h/d de riego la más adecuada. Las eficiencias que se logran bajo esta estrategia de riego son del 73% del DQO, 44,4% de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y 23% del PT.</p>	<p>HIDRÁULICA EN LA BIODEGRADACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS TRATADAS POR SISTEMAS NO CONVENCIONALES DE VERMIFILTRACIÓN”. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.</p>
--	---

**Tabla 22.** Ficha bibliográfica

<p><b>17. Nombre del artículo</b> PROYECTO DE ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN LAS PALMERAS DE SAN FERNANDO</p>	<p><b>Escala</b> La escala utilizada en el presente informe es la escala MM (Mercalli Modificada).</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Aguas residuales domésticas en la urbanización de Las Palmeras en la localidad de San Fernando situada en Ica (Perú).</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> El agua bombeada desde el tanque de homogeneización es distribuida sobre el vermifiltro mediante un sistema de aspersion. Se trata de un receptáculo donde una población de lombrices y microorganismos se encarga de eliminar la contaminación presente en el agua residual. Está compuesto por cuatro módulos de 1300 m<sup>2</sup> cada uno, resultando un total de 5.200 m<sup>2</sup></p>	
<p><b>Tipos de medios</b> Como medio soporte se utiliza un sustrato de granulometría fina. En este sustrato se fija la biomasa y una población de lombrices rojas californianas (eiseniafoetida). El funcionamiento del sistema consiste en rociar el agua residual en la superficie superior del filtro; el agua atraviesa las capas filtrantes, quedando retenida la contaminación en el sustrato. Por lo tanto, el tratamiento biológico dispondrá de 2084 m<sup>2</sup> de Vermifiltro</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> Para darle seguimiento al proceso de vermifiltración dentro de la planta de tratamiento se hace mediante la evaluación de caracterización del agua al momento del ingreso a la Edar y cómo sale luego del proceso por medio de la medición de parámetros fisicoquímicos como DQO, DBO, SST, Aceites y grasas, y coliformes totales.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> En primer lugar, se calcula la carga hidráulica (CH) a partir del criterio de la carga superficial de sólidos suspendidos (CSST).</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> Se recomienda para el tanque de vermifiltración un tiempo de retención hidráulico mínimo de nueve horas a caudal punta, en este caso aplicando los</p>

<p>Se toma la CSST máxima permitida (60 g SST/m<sup>2</sup>·d), y sabiendo la cantidad de SST en el agua (250 mg/l) aplicando esta fórmula:  <math>CSST = SST * CH</math>          Se obtiene una carga hidráulica de 240 l/m<sup>2</sup>·d.</p>	<p>coeficientes de seguridad se ha diseñado el tanque de vermifiltración para un volumen de 5.200 m<sup>3</sup> lo que supone un tiempo de retención superior 12 horas a caudal punta (32 m<sup>3</sup>/hora).</p>
<p><b>Eficiencia</b>          El efluente sale por la parte inferior del filtro, con un porcentaje de eliminación de la DBO superior al 85 %. Por otro lado, la contaminación retenida es degradada hasta ser transformada en humus de lombriz, apto para ser utilizado como abono natural. Por consiguiente, una ventaja del filtro es que no genera lodos inestables, y convierte la contaminación en un abono natural.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b>          Vicente, D. L. (2020). PROYECTO DE ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN LAS PALMERAS DE SAN FERNANDO. CUELA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.</p>

**Tabla 23.** Ficha bibliográfica

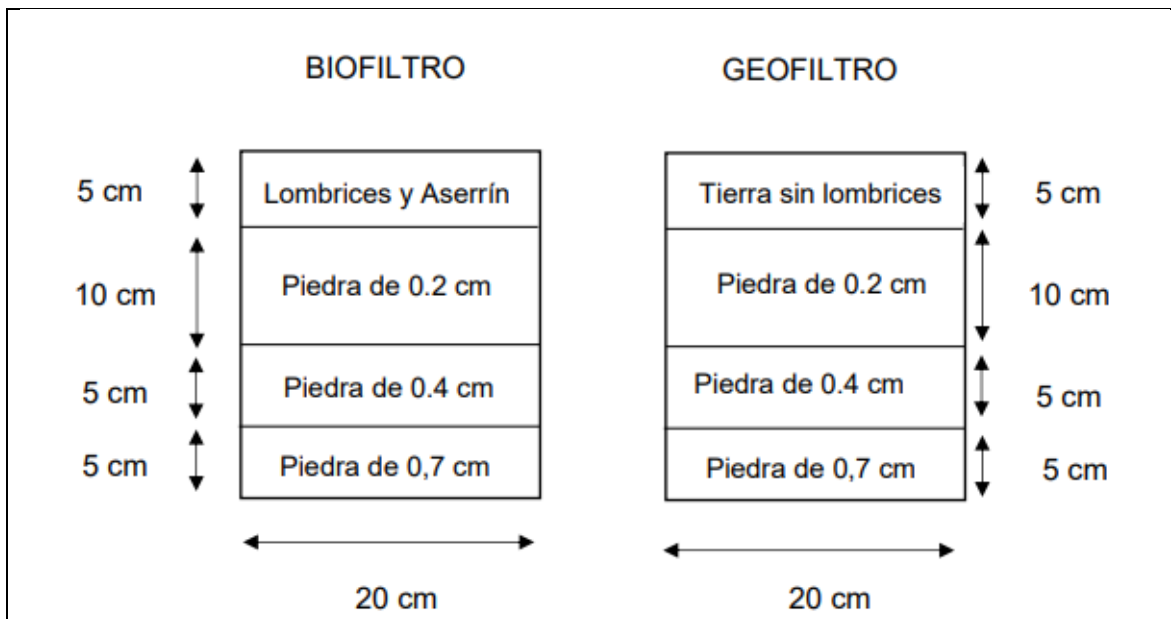
<p><b>18. Nombre del artículo</b>          TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS DE LA INDUSTRIA LÁCTEA, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE DOS VERMIFILTROS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA EN LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO</p>	<p><b>Escala</b>          Dos sistemas de vermifiltración, fueron diseñados a escala de laboratorio, utilizando botellas PET.</p>
<p><b>Tipo de agua</b>          Aguas residuales crudas de la industria láctea, mediante el flujo continuo a través de varios sustratos filtrantes granulares y biológicos</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b>          Dos sistemas de vermifiltración, fueron diseñados a escala de laboratorio, utilizando botellas PET de 6 litros y 4 capas de material filtrante de 6 cm de altura cada una. En ambos vermifiltros, se utilizó como capa de soporte, grava gruesa y fina, con tamaño de partícula de 10 a 12 mm, y 6 a 8 mm, respectivamente. La capa media fue diferente para cada vermifiltro, siendo arena en el primero y antracita en el segundo, con tamaños de partícula de 0,5 a 1 mm, y 0,6 a 1,6 mm, respectivamente.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b>          Los medios filtrantes utilizados fueron la arena, grava gruesa y mediana, antracita y arena de cuarzo, que sirven como capa de soporte a la zona activa.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b>          El funcionamiento de los vermifiltros, se verificó mediante el control de parámetros físicos como: pH, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez, y DQO como parámetro químico. La determinación de los parámetros de calidad de agua, físicos y químicos, mencionados, se ejecutó acorde a los procedimientos señalados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</p>	

<p><b>Carga Hidráulica</b></p> <p>La preparación del agua residual sintética se obtuvo a partir de la adición de 1 gramo de leche en polvo en 1 litro de agua potable, esto es una concentración de 1 g/L (Raj &amp; Murthy, 1999). Los vermifiltros fueron alimentados con el agua residual sintética, preparada tres veces por semana; haciendo circular un volumen total de 3 L, repartidos para los dos biosistemas, durante la etapa de operación.</p> <p>Por tanto el caudal para el sistema es:</p> $Q_{\text{agua residual}} = 0,00098 \text{ m}^3/\text{h}$	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b></p> <p>Se debe tomar en cuenta que el área de todo el sistema es de 0,0018 m<sup>2</sup>, con un total de 4 capas de 6 cm de altura cada una. Por lo tanto, el volumen del suelo fue:</p> $V_s = A * h \text{ cada capa}$ $V_s = 0,0018 \text{ m}^2 * 0,06 \text{ m} * 4$ $V_s = 0,00432 \text{ m}^3$ <p>Para un Tiempo de Retención Hidráulico de 4 horas por cada medio filtrante.</p>
--	---

<p><b>Eficiencia</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Altura de Capa</th> <th>TRH</th> <th>Eficiencia de Remoción</th> <th>Referencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fracción Orgánica de Residuos Sólidos: 20 cm Vermicompost: 15 cm Arena gruesa (ø 1-2 mm): 15 cm Grava (ø 4-6 mm): 15 cm Grava (ø 10-12 mm): 15 cm</td> <td>7,8 h</td> <td>77,8% DQO</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Vermicompost: 20 cm Arena: 10 cm Grava: 21 cm</td> <td>2 h 4 h 6 h</td> <td>75,96% DQO 76,92% DQO 83,3% DQO</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Vermicompost: 10 cm Arena (ø 10-12 mm): 20 cm Grava (ø 3,5 - 4,5 cm): 25 cm Grava (ø 7,5 cm): 25 cm</td> <td>6-10 h</td> <td>96,26% DQO 99,6% DQO 97,87% DQO</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Vermicompost: 16 cm Arena (ø 550 µm): 6 cm Grava (ø 40 mm): 7 cm</td> <td>2 h 4 h 6 h 8 h</td> <td>65,5% DQO 72,7% DQO 72,2% DQO 66,8% DQO</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	Altura de Capa	TRH	Eficiencia de Remoción	Referencia	Fracción Orgánica de Residuos Sólidos: 20 cm Vermicompost: 15 cm Arena gruesa (ø 1-2 mm): 15 cm Grava (ø 4-6 mm): 15 cm Grava (ø 10-12 mm): 15 cm	7,8 h	77,8% DQO	1	Vermicompost: 20 cm Arena: 10 cm Grava: 21 cm	2 h 4 h 6 h	75,96% DQO 76,92% DQO 83,3% DQO	2	Vermicompost: 10 cm Arena (ø 10-12 mm): 20 cm Grava (ø 3,5 - 4,5 cm): 25 cm Grava (ø 7,5 cm): 25 cm	6-10 h	96,26% DQO 99,6% DQO 97,87% DQO	3	Vermicompost: 16 cm Arena (ø 550 µm): 6 cm Grava (ø 40 mm): 7 cm	2 h 4 h 6 h 8 h	65,5% DQO 72,7% DQO 72,2% DQO 66,8% DQO	4	<p><b>Referencia bibliográfica</b></p> <p>ESPINOZA, B. A., &amp; SANTIAGO, M. S. (2021). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS DE LA INDUSTRIA LÁCTEA, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE DOS VERMIFILTROS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA EN LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.</p>
Altura de Capa	TRH	Eficiencia de Remoción	Referencia																		
Fracción Orgánica de Residuos Sólidos: 20 cm Vermicompost: 15 cm Arena gruesa (ø 1-2 mm): 15 cm Grava (ø 4-6 mm): 15 cm Grava (ø 10-12 mm): 15 cm	7,8 h	77,8% DQO	1																		
Vermicompost: 20 cm Arena: 10 cm Grava: 21 cm	2 h 4 h 6 h	75,96% DQO 76,92% DQO 83,3% DQO	2																		
Vermicompost: 10 cm Arena (ø 10-12 mm): 20 cm Grava (ø 3,5 - 4,5 cm): 25 cm Grava (ø 7,5 cm): 25 cm	6-10 h	96,26% DQO 99,6% DQO 97,87% DQO	3																		
Vermicompost: 16 cm Arena (ø 550 µm): 6 cm Grava (ø 40 mm): 7 cm	2 h 4 h 6 h 8 h	65,5% DQO 72,7% DQO 72,2% DQO 66,8% DQO	4																		

**Tabla 24.** Ficha bibliográfica

<p><b>19. Nombre del artículo</b></p> <p>EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA A PARTIR DE LOMBRICES DE TIERRA (EISENIA FOETIDA) EN AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS A NIVEL LABORATORIO</p>	<p><b>Escala</b></p> <p>Implementación del sistema de depuración biológica a escala real</p>
<p><b>Tipo de agua</b></p> <p>Tratamiento en aguas residuales de industrias lácteas con un sistema de depuración con lombrices de tierra.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b></p> <p>Los volúmenes implementados para este estudio fueron diseñados de la siguiente manera:</p>	



**Tipos de medios**

El sistema Tohá tiene diferentes capas filtrantes, compuesto en forma descendente por lombrices de tierra y bacterias en lecho con humus, las cuales degradan residuos sólidos y líquidos orgánicos, debido a que el afluente actúa como alimento de las lombrices y no dejan que el agua presente descomposición que generarían malos olores, luego viene aserrín y viruta, otra capa con gravilla y la última compuesta por piedras de río.

**Parámetros fisicoquímicos**

Para la industria láctea es necesario monitorear los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, pH, sólidos sedimentables (SS), sólidos suspendidos totales (SST), temperatura y tensoactivos (SAAM).

**Carga Hidráulica**

Para el caudal fue tenido en cuenta una velocidad de carga hidráulica de 2.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d, la cual fue la mejor con respecto a otras tres velocidades (1.5, 2, 2.5 y 3,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d) estudiadas, debido a que esta tuvo una eficiencia de eliminación con respecto al DBO del 96%<sup>23</sup>; con esta tasa de carga hidráulica resulta un caudal de 0.086 L/min, en la presente experimentación fue obtenido un caudal de 0.075 L/min.

**Tiempo de retención hidráulica**

El lombrifiltro cuenta con una altura de 1.28 m y un tiempo de retención hidráulico de 10h 18min.

**Eficiencia**

La eficiencia en la eliminación de los parámetros contaminantes del agua, el efluente resultante cuenta con una disminución del 99% de los coliformes totales, 95% de la DBO<sub>5</sub>; 95% de los sólidos totales; 93% de los sólidos

**Referencia bibliográfica**

DELGADO, E. P., & CASTAÑEDA, J. P. (2016). EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA A PARTIR DE LOMBRICES DE TIERRA (EISENIA FOETIDA) EN AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS A NIVEL

suspendidos volátiles; y 60% a 80% del nitrógeno y 60% a 70% del fósforo	LABORATORIO. BOGOTÁ D.C.: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.
--	--

**Tabla 25.** Ficha bibliográfica

<b>20. Nombre del artículo</b> INCIDENCIA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA Y LENTEJA DE AGUA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS	<b>Escala</b> Diseño e implementación a escala de un biofiltro tohà en la ESPOCH para la depuración de las aguas residuales domésticas.
<b>Tipo de agua</b> Aguas residuales que se vierten sobre el río Quevedo, para lo cual se utilizó como referencia la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 para muestreo y conservación de las muestras, una vez realizado esto se las rotularon se conservó en una hielera a una temperatura de 10°C y se enviaron al laboratorio.	
<b>Volúmenes del reactor</b> El vermifiltro (vertical) se diseñó con una estructura de metal de tipo angular de 1 metro de alto por 0,5 m de ancho, sellada con láminas de vidrio, haciendo referencia a lo citado por (Ramon, Alejandro, & Castillo, 2015). El vermifiltro horizontal también llamado humedal artificial se ejecutó a partir de láminas de vidrio de 1 m, diámetro de 0,60 m y una profundidad de 0,40 m, similar a una pecera.	
<b>Tipos de medios</b> Se colocó un lecho soporte de 30 cm, el cual se dividió en dos partes, uno constituido por 15 cm de piedras redondas y el otro constituido por 15 cm de grava (piedra pequeña), en la parte superior se colocó una capa de 20 cm de aserrín mezclada con 5 Kg de Eisenia foetida.	
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> En función a los resultados obtenidos de la caracterización podemos observar cambios significativos en el rendimiento de los vermifiltros dando seguimiento durante todo el proceso a los parámetros fisicoquímicos de DQO, DBO, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, sólidos totales, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno, oxígeno disuelto y coliformes fecales.	
<b>Carga Hidráulica</b> La carga hidráulica está compuesta por la cantidad de aguas residuales vertidas diariamente en el biofiltro y la carga orgánica se compone de carga del contaminante del efluente por el tiempo de retención hidráulica, con un con caudal de entrada de 2,5 l/h.	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> El tiempo de retención del agua fue de 48 horas, el mismo tiempo que se utilizó en el vermifiltro vertical, haciendo referencia a lo recomendado por Rodríguez et al. (2010).
<b>Eficiencia</b> Se determinó que el tratamiento obtuvo una eficiencia del DQO de 97.12 %, el DBO 93.40 %, sólidos disueltos totales 42 % sólidos suspendidos totales 42 %, sólidos	<b>Referencia bibliográfica</b> Liberio, F. Vásquez. G. (2020) INCIDENCIA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA Y LENTEJA DE AGUA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS

totales 41.43 %, conductividad eléctrica 13 % y coliformes fecales de 85.33 %.	RESIDUALES URBANAS, Editorial Compás, Guayaquil Ecuador, 49 pag
--	---

**Tabla 26.** Ficha bibliográfica

<b>21. Nombre del artículo</b> Treatment of Sewage by Vermifiltration	<b>Escala</b> Eficiencia de remoción de vermifiltración a escala piloto
<b>Tipo de agua</b> Este artículo describe el mecanismo básico del vermifiltro y se encontró que el vermifiltro es una técnica adecuada para una tecnología de tratamiento altamente eficiente para aguas residuales	
<b>Volúmenes del reactor</b> Dimensiones vermifiltro piloto (VP) Dimensiones: Cilindro diámetro de 0.55 m x 1.1 m altura a) Volumen del reactor: $VR = \pi \times r^2 \times h = 0.26 \text{ m}^3$ b) Área superficial = $As = \pi \times r^2 = 0.24 \text{ m}^2$ El reactor tiene una media esfera en el fondo, con una altura de la columna 0.18 cm y es donde se colocó la capa de grava triturada.	
<b>Tipos de medios</b> Se utiliza la vermicomposta como medio filtrante, ya que el proceso involucra filtrar el agua residual a través de un vermifiltro con lombrices y vermicomposta (las excretas de las lombrices, que almacena cocones y un amplio espectro de microflora benéfica) en un especial medio desarrollado.	
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> El presente estudio evaluará el desempeño de la vermifiltración para parámetros como DBO, DQO, TDS, TSS, fósforo y nitrógeno para aguas residuales.	
<b>Carga Hidráulica</b> La carga hidráulica del vermifiltro estuvo entre 2.0-6.0 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ el cual mostró un bajo incremento de contaminantes en el efluente y poca afectación el sistema, pero se presentaron problemas de eficiencia con un valor $>6 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$ .	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> El tiempo de retención hidráulico (TRH) para el reactor anaerobio varió de 6 a 9 horas, se usaron los datos generados en las pruebas de vaciado: caudal, tiempo total de la prueba, volumen total drenado, volumen de cama de MF en la columna de prueba y volumen de cama de MF en cada reactor.
<b>Eficiencia</b> Los resultados del tratamiento en eficiencia de remoción para la DQO fue de 80 % a 86 %, la remoción de la DBO5 fue de 90 % a 98 %, la remoción de SS fue de 95 % a 98 % y la remoción del $\text{NH}_3\text{-N}$ fue de 30 % a 60 %.	<b>Referencia bibliográfica</b> Patel, J., & Gajera, Y. M. (2011). Treatment of Sewage by Vermifiltration. College of Engineering Ahmedabad.

**Tabla 27.** Ficha bibliográfica

<b>22. Nombre del artículo</b> Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and	<b>Escala</b> Se instaló un vermifiltro a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas en
--	--

its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity	una planta de aguas residuales de la ciudad de Shanghai, China, según nuestra experiencia de estudio de 6 años.
---	---

**Tipo de agua**

Se utilizaron para tratar las aguas residuales de la planta de aguas residuales de Quyang en Shanghai, China.

**Volúmenes del reactor**

El vermifiltro de ceramista (CV) se incluyó en el vermifiltro de arena de cuarzo (QV). El agua afluyente se distribuyó girando el dispositivo de chorro de agua. Una capa de relleno fibroso de plástico cubría la superficie del lecho del filtro. El relleno fibroso se utilizó para la redistribución de aguas residuales y fue una excelente propiedad opaca para las lombrices de tierra. Las dimensiones de Vermifiltro son:

Propiedad física	Vermifiltro Ceramsita	Arena de cuarzo
Área de filtro (m <sup>2</sup> )	2	8.7
Altura total del filtro (m)	1,83	1,83
medio filtrante	Ceramsite	Arena de cuarzo
Diámetro del primer medio filtrante (mm)	3.00-5.00	1,40-2,36
Altura del primer lecho filtrante (m)	0,2	0,2
Segundo medio filtrante	Arena de cuarzo	Arena de cuarzo
Diámetro del segundo medio filtrante (mm)	1,40-1,65	1,40-1,65
Altura del segundo lecho filtrante (m)	0,1	0,1

**Tipos de medios**

La lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) está distribuido uniformemente en el lecho de filtro con una densidad inicial de aprox. 21 000 ind · m<sup>-2</sup> y la biomasa total de lombrices de tierra fue de ca. 30,3 kg en todo el vermifiltro. *E. foetida* fue elegido porque fue ampliamente utilizado en la vermifiltración.

**Parámetros fisicoquímicos**

Se evalúan las tasas de eliminación de DQO, DBO5, SS, TN y NH4-N en el vermifiltro relleno de arenas de cuarzo y ceramsita para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

**Carga Hidráulica**

La carga hidráulica de nuestro vermifiltro alcanzó los 2,4 - 6,7 m<sup>3</sup> · metro<sup>-2</sup> · D<sup>-1</sup>, lo que indicó una mayor capacidad de procesamiento de aguas residuales. Por lo tanto, consideramos que el vermifiltro tendría una aplicación deseable debido a una menor superficie de tierra, en comparación con otros tratamientos de desechos ecológicos y descentralizados.

**Tiempo de retención hidráulica**

Se utilizaron para tratar las aguas residuales de la planta de aguas residuales de Quyang en Shanghai, China. Cada condición de trabajo se operó durante 30 a 31 días.

**Eficiencia**

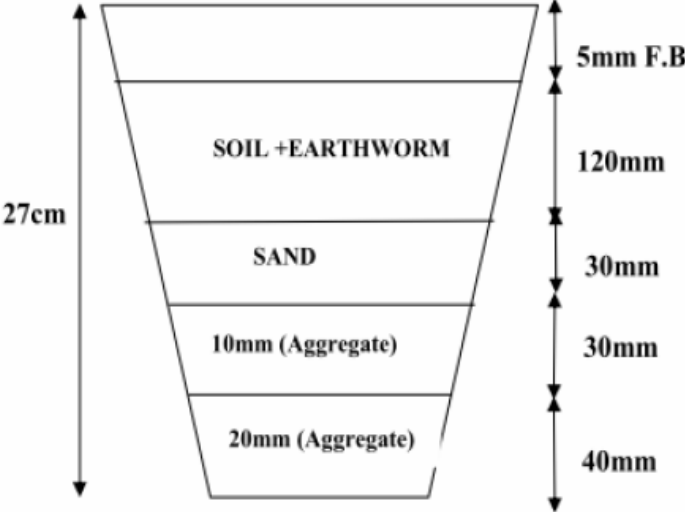
Los resultados mostraron que se logró un buen rendimiento del vermifiltro y se redujeron las tasas de remoción de: DQO (47,3 - 64,7%), DBO5 (54,78 - 66,36%), SS (57,18 - 77,90%), TN (7,63 - 14,90%) y NH4-N (21,01 - 62,31%), respectivamente.

**Referencia bibliográfica**

Xing, M., Li, X., & Yang, J. (2010). Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity. Tongji, Shanghai: Revista Africana de

	Biotecnología Vol. 9 (44), págs. 7513-7520.
--	---

**Tabla 28.** Ficha bibliográfica

<p><b>23. Nombre del artículo</b> LABORATORY SCALE STUDIES ON DOMESTIC GREY WATER THROUGH VERMIFILTER AND NON-VERMIFILTER</p>	<p><b>Escala</b> En el presente estudio, se diseñaron vermifiltros de una etapa a escala de laboratorio.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Se recogieron aguas grises domésticas del edificio de dos pisos (casa-1) y del edificio de cuatro pisos (casa-2).</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> Los volúmenes utilizados en el vermifiltro a escala laboratorio están compuesto de la siguiente forma:</p> 	
<p><b>Tipos de medios</b> Las aguas grises se filtraron a través de varias capas en el lecho vermifiltro pasando por la capa de suelo habitada por lombrices de tierra, la capa de arena y las gravas y al final se recogieron en una cámara en el fondo del kit.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> El estudio tiene como objetivo probar la idoneidad del vermifiltro para los parámetros a evaluar: pH, eliminación eficiente de DBO y DQO, así como sólidos en suspensión en aguas grises efluente</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Se mantuvieron 4 litros de aguas grises en un tambor de plástico calibrado de 8 litros de capacidad. Estos tambores se mantuvieron en una plataforma elevada cerca del vermifiltro. El tambor tenía un</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> El porcentaje de reducción en la concentración de Sólido se redujo notoriamente con un tiempo de retención hidráulico de 2-3 horas respectivamente, con una eficiencia entre el 60% y 70%.</p>



<p>grifo en la parte inferior al que se adjuntaba un sistema de riego. El sistema de distribución de aguas grises constaba de una tubería de goma flexible simple de 0,5 pulgadas con orificios para el agua que permitía una distribución uniforme de las aguas grises en la superficie del suelo. Las aguas grises del tambor fluyeron a través de la tubería de goma flexible perforada por gravedad.</p>	
<p><b>Eficiencia</b> El porcentaje de reducción en la concentración de DBO en el vermifiltro varía del 85 al 93%, el porcentaje de reducción en la concentración de DQO en el vermifiltro varía de 74 a 80% y para sólidos suspendidos varían entre el 70 y el 80%.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Kharwadea, M., &amp; Khedikar, I. P. (2011). LABORATORY SCALE STUDIES ON DOMESTIC GREY WATER THROUGH VERMIFILTER AND NON-VERMIFILTER. Universidad Rashtra Sant Tukdoji Maharaj Nagpur.</p>

**Tabla 29.** Ficha bibliográfica

<p><b>24. Nombre del artículo</b> Performance of A Pilot-Scale Vermifilter for the Treatment of A Real Hospital Wastewater</p>	<p><b>Escala</b> En este estudio se evaluó el desempeño de un vermifiltro (VF) a escala piloto.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Este estudio se llevó a cabo en una planta de tratamiento de aguas residuales de un hospital real en Hamadan que utiliza un sistema de lodos activados por aireación extendida.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> El reactor vermifiltro a escala piloto cuenta con dimensiones de 40× 40× 120 cm, fue hecho de material de vidrio Pyrex; el reactor tenía un espacio vacío de 10 cm en la parte superior para el propósito de aireación.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> El Vermifiltro constaba de cuatro partes: material del lecho, lombrices de tierra, distribuidor de aguas residuales y sistema de drenaje. El lecho del filtro contenía cuatro capas con la capa más inferior (capa de soporte) hecha de adoquines de un tamaño de 10 a 50 mm y llena hasta una profundidad de 20 cm. En la parte superior, había una capa de detritos (de 3 a 10 mm) y se llenó hasta otra profundidad de 30 cm. Otra capa de arena (100 a 800µm) se introdujo con una profundidad de aproximadamente 30 cm. La capa superior (capa activa) se compuso luego de 30 cm de lombriz de tierra de jardín.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> Fueron analizadas diferentes parámetros físico-químicos: pH, DQO, BOD5, y TSS. Donde la DQO se determinó utilizando el dicromato de potasio método, mientras que DBO5 se midió mediante el procedimiento de oxidación estándar después de 5 días a 20 ° C y se midió el TSS utilizando el método 2540 D.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Después de la fase de estabilización, se dejó que el VF funcionara durante 17 semanas de</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> El tiempo de retención hidráulico que mostró gran efectividad fue de 4 semanas de</p>

<p>forma continua con una tasa de carga hidráulica constante (HLR) de 1 m.3metro-2D-1. El agua residual cruda se hizo pasar por rejas gruesas y finas y el tanque de sedimentación, y luego se almacenó en un tanque de distribución, y finalmente se tomó como entrada del vermifiltro.</p>	<p>17 semanas que se utilizaron para el monitoreo, en el que sistema de vermifiltración, se redujo rápidamente.</p>
<p><b>Eficiencia</b> La vermifiltración provocó una disminución significativa en los niveles de DQO (75%), DBO<sub>5</sub> (93%) y TSS (89%), así como pH neutralizado en las aguas residuales. Además, se observó que estos contenidos en el geofiltro eran 65%, 71% y 71%, respectivamente. La tecnología de vermifiltración puede, por tanto, aplicarse como un método ecológico para tratamiento de aguas residuales hospitalarias.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Nahid Ghobadi, I. R., Rahmani, A. R., Samadi, M. T., &amp; KazemGodini. (2016). Performance of A Pilot-Scale Vermifilter for the Treatment of A Real Hospital Wastewater. Universidad de Ciencias Médicas de Hamadan, Hamadan, Irán.</p>

**Tabla 30.** Ficha bibliográfica

<p><b>25. Nombre del artículo</b> Design and Suitability of Modular Vermifilter for Domestic Sewage Treatment.</p>	<p><b>Escala</b> Estudios piloto a escala para la vermifiltración de 1000m<sup>3</sup> / día de aguas residuales de aguas residuales.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Para este estudio se tomó la muestra de un edificio de 10 pisos que consta de 4 cúbicos por piso de 5 miembros por piso, donde se trataron las aguas grises residuales de cada uno.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> El presente modelo ha sido diseñado para tratar 400 litros de aguas residuales por día. Este reactor se ha diseñado como una unidad de Vermifiltración de 1350 mm de diámetro y 1265 mm de profundidad. La profundidad de 1265 mm se ha dividido en 4 partes en las que se colocaron grava, arena y lecho de tierra para lombrices de tierra de la capa inferior a la superior</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> El montaje consta de unos 35 kg de grava con una capa de tierra de jardín encima. Se ha adoptado la mezcla adecuada de tierra de jardín y aserrín en una proporción de volumen de 3: 1: forma un lecho de vermifiltro. El sistema consta de la capa más baja y se hizo con agregados de grava de tamaño 16-20 mm y se llena hasta la profundidad de 20 cm. Por encima de esto se encuentran los agregados de tamaños de 10 mm que se llenan hasta otros 20 cm. Encima, capa de 20 cm de áridos de 5 mm mezclados con arena. La capa superior de unos 20 cm consiste en un lecho de suelo en el que se liberaron las lombrices de tierra. Las lombrices de tierra inoculadas, es decir, las lombrices azules de la India, tenían una densidad inicial de lombrices de tierra de 75 g. A los gusanos se les dio alrededor de una semana de tiempo de reposo en el lecho del suelo para que se aclimataran al nuevo ambiente. Un vermifiltro cilíndrico con ventilación natural se equipó con un tubo de polipropileno de 16 mm con orificios para garantizar una distribución uniforme del</p>	

<p>afluyente y un conjunto de tubos insertados para proporcionar aireación. Se colocó una red de alambre debajo de la capa del lecho de tierra para permitir que solo el agua gotee mientras se mantienen las lombrices de tierra en el lecho de tierra porque pueden arrastrarse hacia los materiales filtrantes. Capa de 20 cm de áridos de 5 mm mezclados con arena. La capa superior de unos 20 cm consiste en un lecho de suelo en el que se liberaron las lombrices de tierra.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> En este estudio se intenta conocer la eficiencia del vermifiltro como sistema de tratamiento descentralizado con referencia a parámetros como pH, turbidez, sólidos totales, remoción de la demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> La unidad de vermifiltro se divide en dos partes, cada una con una capacidad de 1500 litros por día por filtro. El agua gris se alimenta por flujo de gravedad de tal manera que el agua gris alimentada circula uniformemente en el lecho del vermifiltro.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> En el proceso por lotes, se ha utilizado una relación de tiempo de húmedo a seco de 1: 3 (cada ciclo incluyó flujo de aguas residuales durante 1 h, retención durante 3 h) si el sistema tiene que funcionar sin asfixia ni obstrucción.</p>
<p><b>Eficiencia</b> Se muestran las contribuciones de las lombrices de tierra en el porcentaje de remoción de todos los parámetros analizados. Se mejoró la eficiencia de remoción de los parámetros analizados 24.38%, 25.86%, 17.06%, 25.26%, 35.47% de DQO, DBO, Turbidez, TDS, TSS respectivamente por la presencia de lombrices de tierra.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Guruprasad, A. (2015). Design and Suitability of Modular Vermifilter for Domestic Sewage Treatment. India: internacional de investigación y tecnología de ingeniería emergente.</p>

**Tabla 31.** Ficha bibliográfica

<p><b>26. Nombre del artículo</b> Performance Evaluation of Laboratory Scale Vegetated Vermifilter for Domestic Wastewater.</p>	<p><b>Escala</b> Se diseñarán dos vermifiltros de flujo verticales a escala de laboratorio.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Para el presente estudio el muestreo de agua que se utilizó para evaluar la efectividad del vermifiltro fueron aguas residuales de cerveceras y lecherías municipales.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> Todos los módulos del reactor fueron hechos de PVC con un volumen total de 25 L utilizando vermicompost como material filtrante y arena de cuarzo y grava como filtro inerte.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> El lecho del filtro se llenó con cuatro capas (de arriba a abajo). La capa superior o capa activa de lombriz consistió en vermicompost y aceite de jardín en una proporción de 1: 3 por volumen. La segunda, tercera y cuarta capas de la parte superior se tomarán como arena lavada, grava fina de 6 a 8 mm y grava gruesa de 10 a 12 mm, respectivamente.</p>	

<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> En este estudio se intenta conocer la eficiencia del vermifiltro como sistema de tratamiento descentralizado con referencia a parámetros como pH, turbidez, sólidos totales, remoción de la demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Se mantiene una tasa de carga hidráulica constante de aguas residuales, alrededor de 0,65 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup>día<sup>-1</sup> en ambos reactores mediante flujo por gravedad.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> La vermifiltración contó con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 1-2 horas.</p>
<p><b>Eficiencia</b> Las cargas de DBO y SST de las aguas residuales se reducen en más del 95%; Los HAP de los suelos contaminados se eliminan en más del 80% en solo 12 semanas; y el crecimiento de los cultivos se promueve entre un 30 y un 40% más en comparación con los fertilizantes químicos. Las lombrices de tierra son tanto "protectoras" como "productivas" para el medio ambiente y la sociedad.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Angathekar, V. S., &amp; Patil, Y. M. (2021). Performance Evaluation of Laboratory Scale Vegetated Vermifilter for Domestic Wastewater. India: International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).</p>

**Tabla 32.** Ficha bibliográfica

<p><b>27. Nombre del artículo</b> PERFORMANCE EVALUATION OF VERMIFILTRATION TECHNOLOGY FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER USING DETOXIFYING EARTHWORMS: A CASE STUDY.</p>	<p><b>Escala</b> Sistema de vermifiltro de torre para el tratamiento de aguas residuales rurales: aplicaciones escala piloto.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> En el muestreo de aguas, se tomó la decisión de utilizar aguas residuales rurales, en este experimento, se desarrolló un piloto asociado a la cría de cerdos (instalación porcina) con 66 cerdos para el tratamiento de estiércol porcino y posteriormente se proporcionaron resultados preliminares.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> El Vermifiltro es un biofiltro que fue construido de forma cilíndrica que tiene una profundidad de 1-1.5 m y se divide en cuatro partes con cada una de las capas para realizar la percolación del agua residual.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> Se coloca grava de tamaño 10-20 mm, luego se coloca otra capa de grava de tamaño 2-4 mm, arena de en el vermifiltro se colocan el tamaño 1-2 mm y el lecho de tierra de jardín para lombrices. Generalmente se adopta una mezcla homogénea de tierra de jardín y aserrín en una proporción de volumen de 3: 1 para formar el lecho del vermifiltro. Se pueden usar ingredientes naturales como astillas de madera, bolas de barro, etc. como medio filtrante en lugar de tierra de jardín o se puede tomar la mezcla de los dos en el lugar donde residen las lombrices de tierra. Los vermifiltros tienen ventilación natural y están</p>	

equipados con tubería perforada de polipropileno para proporcionar una distribución equitativa de las aguas residuales y para la aireación, se insertan un par de tuberías.	
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> La evaluación del desempeño se ha realizado sobre la base de los parámetros de prueba de la calidad de las aguas residuales por medio de la medición de DBO5, COD, sólidos en suspensión TN y NH4-N	
<b>Carga Hidráulica</b> La carga hidráulica que se utiliza para la prueba piloto de un vermifiltro es de 100 ml diarios de agua residual rural de la cría de porcinos.	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> La vermifiltración contó con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 5 horas mientras realiza todo el tratamiento.
<b>Eficiencia</b> Se concluyó que las eficiencias de eliminación de Vermifilter eran DBO5 = 54,78% a 66,36%, COD = 47,3% a 64,7%, sólidos en suspensión = 57,18% a 77,90%, TN = 7,63% a 14,90% y NH4-N = 21,01% a 62,31% respectivamente.	Referencia bibliográfica Singh, K., & Bhatia, T. (2020). PERFORMANCE EVALUATION OF VERMIFILTRATION TECHNOLOGY FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER USING DETOXIFYING EARTHWORMS: A CASE STUDY. India: Delhi Technological University.

**Tabla 33.** Ficha bibliográfica

<b>28. Nombre del artículo</b> An Eco-friendly and Innovative Technology for Wastewater Treatment	<b>Escala</b> Estudio a escala piloto muestra un beneficio claro para la reducción de contaminantes con la propiedad incorporada de eliminación de patógenos.
<b>Tipo de agua</b> El presente estudio realiza el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lombrices de tierra.	
<b>Volúmenes del reactor</b> Se instaló un vermifiltro (VF) a escala piloto de metacrilato de dimensiones 0.3 m X 0.3 m X 0,6 m y consistió en material filtrante, lombrices, distribuidor de agua y sistema de drenaje.	
<b>Tipos de medios</b> El material filtrante del lecho está compuesto por 3 capas. La capa de soporte más inferior consistía en grava fina y gruesa. La capa intermedia estaba formada por arena. La capa activa que estaba en la parte superior consistía en vermicompost maduro. Se agregaron lombrices de tierra a esta capa (15,000 lombrices por metro cúbico) y se les permitió aclimatarse durante aproximadamente un mes antes de este estudio.	
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> Todas las muestras se utilizaron para medir DQO, DBO5, SS, TC, FC y FS. Todo el análisis siguió los métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales (APHA, EE. UU., 21S t edición).	
<b>Carga Hidráulica</b>	<b>Tiempo de retención hidráulica</b>

La carga hidráulica que se utilizó en el proceso de vermifiltro fue de 1,5 m <sup>3</sup> /metro <sup>2</sup> / d durante todo el proceso distribuido con un rociador intermitentemente sobre la superficie del lecho filtrante esparciendo las aguas residuales sintéticas en el tanque de distribución	En el proceso se ha descubierto que eliminan el día 5 DBO <sub>5</sub> , DQO, TDS, SS en un 80--95% de las aguas residuales. Las lombrices de tierra liberan fluidos celómicos de su cavidad corporal (celoma) que tienen propiedades antibacterianas y destruyen todos los patógenos en el medio en el que habita.
<p><b>Eficiencia</b></p> <p>Los resultados mostraron que la calidad del efluente de VF mostró un mayor porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (97.6%), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (70.2%), Sólidos Suspendidos (SS) (80%) y remoción máxima de logaritmos de Total Coliformes (CT) (3.93), Coliformes fecales (FC) (2.99) y Estreptococos fecales (FS) (3.64%)</p>	<p>Referencia bibliográfica</p> <p>Arora, S., Rajpal, A., &amp; Kumar, T. (2015). An Eco-friendly and Innovative Technology for Wastewater Treatment. Springer Nature Editores.</p>

**Tabla 34.** Ficha bibliográfica

<p><b>29. Nombre del artículo</b></p> <p>Community Wastewater Treatment By Using Vermifiltration Technique.</p>	<p><b>Escala</b></p> <p>Tratamiento de aguas residuales industriales grises y de pequeña escala con la ayuda de Vermifiltro.</p>
<p><b>Tipo de agua</b></p> <p>La muestra de Aguas Residuales se tomó del comedor de nuestro Colegio, las cuales son aguas residuales industriales grises.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b></p> <p>Se realizó en un kit de vermifiltración de plástico de 20 litros de capacidad, el vermifiltro está formado por un sencillo sistema de filtrado formado por un recipiente de plástico, la capa inferior está formada por gravas con espacio para la aireación y percolación del agua, recubierto con una capa de árido y luego con arena y cantos rodados de arena, cubierto con estiércol de vaca, arcilla y cargado de lombrices de tierra.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b></p> <p>Los lechos filtrantes están compuestos por una capa de áridos de 20mm de tamaño de 7cms con capa de 10-16 mm de tamaño de 7cms y 5 mm de tamaño de agregados de 7cms por encima de la cual capa de 5cms de arena y cantos rodados de arena con capa de estiércol de vaca, arcilla de 10cms con vermis en la parte superior.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b></p> <p>Los parámetros a evaluar en este estudio día a día son DBO, DQO, TS, TDS y TSS.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b></p> <p>La carga hidráulica que se utilizó en el proceso de vermifiltro fue de 3,5 m<sup>3</sup>/metro<sup>2</sup>/ ya que, las aguas residuales se</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b></p> <p>El tiempo de retención hidráulico descubierto por el presente estudio es de 5 días, ya que, se ha observado que las</p>

dejan pasar a través del filtro y las lombrices consumen y metabolizan aceites, grasas y otros compuestos; finalmente el agua que se filtra se recoge en otro recipiente.	lombrices de tierra son potencialmente capaces de digerir el material orgánico de desecho y eliminar la DBO de 5 días5 cerca del 90%
<b>Eficiencia</b> La DBO de 5 días5 cerca del 90%, DQO en 85-90%, TS en 90-95%, TDS en 95%, TSS en 95-98%.	<b>Referencia bibliográfica</b> Misal, N., & NitishA.Mohite. (2017). Community Wastewater Treatment By Using Vermifiltration Technique . ternational Journal of Engineering Research and Technology.

**Tabla 35.** Ficha bibliográfica

<b>30. Nombre del artículo</b> A Combined Vermifiltration-Hydroponic System for Swine Wastewater Treatment	<b>Escala</b> El presente estudio tuvo como objetivo construir y probar un sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas a escala piloto interior que comprende una unidad de vermifiltración para la eliminación de amoníaco, nitrito, materia orgánica y patógena.
<b>Tipo de agua</b> Se utilizó para el presente estudio agua residual cruda para el tratamiento de vermifiltración / hidropónico se obtuvo de una porquería ubicada en el distrito de Leiria, como muestras al azar recolectadas mensualmente de la segunda de un sistema de tres lagunas anaeróbicas / facultativas secuenciales, para representar una etapa intermedia del tratamiento inicial.	
<b>Volúmenes del reactor</b> Un cilindro de plástico opaco (altura total 63 cm, diámetro interno 16 cm) con perforaciones laterales de 4 mm para la aireación en la mitad inferior.	
<b>Tipos de medios</b> El lecho filtrante estaba compuesto por 6 cm lleno de abajo hacia arriba con grava de 22,4 por 45 mm (10 cm), 16 por 22,4 mm de grava (7,5 cm), 6,3 por 14 mm de grava (7,5 cm), 2.0 por 6.3 mm de grava (5 cm), arena gruesa de río (3 cm), arena fina de río (10 cm) y una capa de 15 cm de una mezcla 1: 2 (por volumen seco aparente) de humus de lombriz de tierra (SiroTM) con virutas de madera de pino de un aserradero local. Esta última capa fue inoculada con liveEisenia fetida lombrices de tierra de 3 a 6 cm de longitud (10 a 12 g / dm <sup>3</sup> ).	
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> Se recolectaron muestras para análisis de la alimentación del vermifiltro, el efluente del vermifiltro y el contenedor de crecimiento hidropónico, el día después de la adición de una nueva porción de efluente de la porquería al tanque de mezcla donde se evaluaron parámetros de La conductividad eléctrica (CE), pH, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), Nitrógeno, fósforo y Bacterias coliformes.	
<b>Carga Hidráulica</b> El agua que salía del módulo de cultivo que almacenaba un depósito de 75 L, desde donde se devolvía al recipiente de mezcla	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> Un tubo vertical de altura definida colocado en la salida permitió controlar el volumen total y el tiempo de residencia

<p>para diluir las aguas residuales crudas, con el fin de promover la sostenibilidad del sistema mediante el ahorro de agua. La dilución se realizó mediante transferencia manual cada siete días.</p>	<p>hidráulica para un flujo volumétrico constante. Se colocaron dos balsas de espuma de poliestireno encima del contenedor, flotando directamente sobre la superficie del agua. Se midió que el volumen de líquido efectivo en la unidad completamente ensamblada bajo aireación era de 114 L. Por lo tanto, el tiempo de residencia hidráulica (TRH) se estimó en 10,4 días en promedio.</p>
<p><b>Eficiencia</b> La vermifiltración eliminó el 83% de la DBO5, 99% de amoníaco y nitrito, y aumento de nitrato en 11%. Tratamiento hidropónico eliminado DBO5 (63%), amoníaco (100%), nitrito (66%), nitrato (27%) y fósforo (47% total y 44% disuelto) de agua vermifiltrada.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Ispolnov, K., Aires, L. M., Lourenço, N. D., &amp; Vieira, j. S. (2021). A Combined Vermifiltration-Hydroponic System for Swine Wastewater Treatmen. Laboratory of Separation and Reaction Engineering-Laboratory of Catalysis and Materials (LSRE-LCM).</p>

**Tabla 36.** Ficha bibliográfica

<p><b>31. Nombre del artículo</b> Application of the effluent treatment plant based on Vermi filters (Pilot scale) for Liquid Effluent Bigestion of the gelatin industry</p>	<p><b>Escala</b> Los experimentos se llevaron a cabo a escala piloto durante un período de 6 meses en el laboratorio de campo de BRC ubicado en Badlapur, a 50 km de Mumbai.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> En el presente estudio, se aplicó un sistema piloto de tratamiento de aguas residuales que involucra biotecnología de lombricultura de tres niveles junto con tecnología de vermifiltración para el tratamiento de efluentes líquidos secundarios generados por una industria de fabricación de gelatina.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> Los tanques de tratamiento (TT) consistían en una serie de tanques rectangulares cementados de paredes lisas a prueba de filtraciones (9 m × 7 m × 1 m) que se utilizaron para el tratamiento enzimático y microbiano (terciario) de los efluentes secundarios seleccionados.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> Se trata de un pozo cementado de paredes lisas excavado en el suelo y revestido con muros de piedra de 30 mm de espesor. El piso del pozo consiste en arcilla apisonada con impermeabilización para evitar filtraciones de agua. Sobre este, se colocan sucesivas capas de escombros gruesos a finos. A esto le sigue una capa de ladrillos semi triturados, dos capas de grava y arena fina. Esta sección se asemeja a un filtro de goteo. La capa superior de la vermifiltración está formada por material de cama inoculado con residuos de gelatina, enzimas aclimatadas, microorganismos seleccionados y colonias de Lumbricus rubellu.</p>	



<b>Parámetros fisicoquímicos</b> Se evaluaron parámetros fisicoquímicos para el respectivo seguimiento de DBO, TDS y TSS.	
<b>Carga Hidráulica</b> El caudal de entrada para el vermifiltro fue de 10 L compuesta principalmente de gelatina cruda a partir de huesos de ganado en la industria de la oseína.	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> El tiempo de retención del efluente en cada tanque vermifiltro fue de 4 a 5 min.
<b>Eficiencia</b> El agua vermi-filtrada final mostró una disminución significativa en la DQO en un $90,08 \pm 0,176\%$ y la DBO en un $89,24 \pm 0,544\%$ .	<b>Referencia bibliográfica</b> Ghatnekar, S. D., Kavian, M. F., Sharma, S. M., Ghatnekar, S. S., Ghatnekar, G. S., & Ghatnekar, A. V. (2010). Application of the effluent treatment plant based on Vermi filters (Pilot scale) for Liquid Effluent Bigestion. Global Science Books.

**Tabla 37.** Ficha bibliográfica

<b>32. Nombre del artículo</b> Vermiculture as a tool for domestic wastewater management	<b>Escala</b> operación a gran escala para los lodos de depuración en un producto final que es seguro para uso agrícola
<b>Tipo de agua</b> Este sistema cuenta con un tanque de almacenamiento de compostaje desde el cual el efluente pasa a un segundo tanque al que se dirigen las aguas grises	
<b>Volúmenes del reactor</b> Este sistema no necesita un humedal construido y funciona con 3 capas de filtro, está diseñado para casas en los suburbios y solo necesita una fracción del espacio requerido por el sistema más antiguo, el tanque cuenta con las medidas de 10 metros de alto por 30 metros de largo, con una cavidad para la filtración de aguas residuales, los lotes de hasta 1 hectárea para un solo hogar. Sin embargo, para los sistemas de tratamiento de transpiración y aeróbicos, el área podría ser considerablemente menor, requiriéndose hasta 4.000 metros cuadrados.	
<b>Tipos de medios</b> Sobre la vermicomposta se colocó una capa de residuos orgánicos sólidos (ROS), conformados por una mezcla de lodo residual y residuos de comida (hortalizas y fruta), en esta capa se inocularon lombrices de tierra del género Eisenia sp. El VP se alimentó con agua de servicios agrícolas mediante flujo continuo. El estudio se dividió en tres etapas, con tres tasas de filtración (TF) y tres cargas orgánicas superficiales (COS).	
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> Las mayores remociones de materia orgánica y sólidos se evidencian en los parámetros de DQO, DBO y SST.	
<b>Carga Hidráulica</b> El filtro con doble capa es mejor ya que permite un estado de flujo continuo y la	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> Los resultados fueron: el TRH más largo se obtuvo con la vermicomposta (0.57 días) y

carga hidráulica es mayor de 2.0 m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> .	el TRH más corto fue el del tezontle con (0.23 días).
<b>Eficiencia</b> Las remociones más altas de materia orgánica y sólidos correspondieron a la Etapa 1 (TF 0.180 m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> , COS 108 g · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> ): 92 % DQO, 99 % DBO, 97 % SST. La menor remoción se dio con la Etapa 3 (TF 0.240 m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> , COS 61 g · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> ): 58 % DQO, 73 % DBO, 79 % SST, la cual correspondía a la TF más alta.	<b>Referencia bibliográfica</b> Bajsa, O., Jaya, N., Mathew, K., & Ho, G. (2003). <i>Vermiculture as a tool for domestic wastewater management</i> . Municipal Solid Waste Management in the BRIC and High-Income Countries

**Tabla 38.** Ficha bibliográfica

<b>33. Nombre del artículo</b> Developing a Testing Protocol for Vermifiltration-based Onsite Wastewater Treatment Systems (VOWTS)	<b>Escala</b> Los planos deben ser planos de ingeniería a escala, preferiblemente en tamaño A3, para incluir tanto planos como planos transversales del sistema en su conjunto y de cada uno de sus componentes con nombre, modelo, tamaño, descripción, función, material de fabricación y ubicación en el producto.
<b>Tipo de agua</b> Para el presente sistema se implementó aguas residuales in situ, las cuales son aguas residuales en contacto con un filtro que contiene gusanos y bacterias.	
<b>Volúmenes del reactor</b> En los sistemas de vermicompostaje convencionales, la mayoría de las especies habitan en los 100-200 mm superiores del material de compost (Edwards y Fletcher 1988). También se ha sugerido que cuando la profundidad del sistema alcanza más de 450 mm de profundidad, existen condiciones de compactación y anaeróbicas.	
<b>Tipos de medios</b> El lecho del filtro consta de capas de piedras de río lavadas, periódico y mantillo de turba sobre una plataforma elevada de geotextil. Los gusanos se agregan al lecho del filtro y las aguas residuales se aplican a través de la tubería de entrada. El agua efluente se escurre a través del geotextil y se recoge en la base del tanque. La aireación es proporcionada por una tubería de ventilación a la base del tanque.	
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> Esta configuración es muy similar a un sistema de filtro de goteo convencional y los resultados del experimento mostraron que el sistema con lombrices de tierra presenta una reducción de DBO, DQO y TSS más que el control.	
<b>Carga Hidráulica</b> Un producto debe estar diseñado para funcionar en las instalaciones bajo las siguientes carga: un caudal mínimo diario de 150 litros	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> El tiempo mínimo que las aguas residuales deben estar en contacto con el filtro de tratamiento es uno (1 hora).
<b>Eficiencia</b> La remoción más alta (92% DQO, 99% DBO5 y 97% SST) se obtuvo cuando el	<b>Referencia bibliográfica</b> Baumgartner, R. (2013). Developing a Testing Protocol for Vermifiltration-based

reactor tuvo unas condiciones de mayor carga orgánica.	Onsite Wastewater Treatment Systems (VOWTS). Murdoch University.
--	--

**Tabla 39.** Ficha bibliográfica

<b>34. Nombre del artículo</b> DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT BY BIO-FILTRATION: A CASE STUDY.	<b>Escala</b> Se instaló una planta de biofiltros a pequeña escala.
<b>Tipo de agua</b> Aguas residuales domésticas en el campus del Instituto de Tecnología de Gharda.	
<b>Volúmenes del reactor</b> El tamaño de la planta de biofiltros es de 9 mx 5 mx 1,75 m. En la parte inferior de la planta, la tierra se apisona bien y se coloca un lecho de PCC de 100 mm y RCC de 150 mm por encima del suelo.	
<b>Tipos de medios</b> La capa más inferior está formada por agregados de grava (escombros) de tamaño 75–100 mm. La profundidad de la capa es de 300 mm, por encima de esta se encuentran los agregados de tamaños de 40 a 60 cm llenos hasta otros 400 mm. Encima está la capa de 350 mm de agregados de tamaños de 8-10 mm mezclados con arena. La capa superior de aproximadamente 650 mm es un medio de biofiltro que consiste en tierra pura y astillas de madera junto con estiércol de vaca en el que se liberan las lombrices de tierra.	
<b>Parámetros fisicoquímicos</b> Se recolectan muestras de efluentes y afluentes una vez a la semana. Después de medir la temperatura y el pH, las muestras se analizan en busca de oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de tres días, sólidos disueltos totales (TDS) de acuerdo con la Autoridad de Salud Pública Estadounidense	
<b>Carga Hidráulica</b> Se instaló una planta de biofiltros a pequeña escala para el tratamiento de 30 m <sup>3</sup> / día de aguas residuales domésticas en el campus del Instituto de Tecnología de Gharda, por M / s Transchem Agritech Ltd, Vadodara, Gujrat	<b>Tiempo de retención hidráulica</b> El tiempo de retención hidráulico calculado dentro del presente proyecto fue de tres días.
<b>Eficiencia</b> Las eficiencias de remoción promedio del vermifiltro fueron las siguientes: demanda química de oxígeno (DQO) 68.52%; demanda biológica de oxígeno (DBO) 72,05%; sólidos totales disueltos 15,42%.	<b>Referencia bibliográfica</b> Garkal, D. J., Mapara, J., & Prabhune, M. (2015). DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT BY BIO-FILTRATION: A CASE STUDY. International Journal of Science, Environment.

**Tabla 40.** Ficha bibliográfica

<p><b>35. Nombre del artículo</b>  INTEGRATED MICROBIAL-  VERMIFILTRATION TECHNIQUE  FOR AYURVEDIC INDUSTRIAL  EFFLUENTS</p>	<p><b>Escala</b>  Los experimentos se realizaron a escala de laboratorio, en el laboratorio de la universidad</p>
<p><b>Tipo de agua</b>  Los efluentes líquidos se recolectaron de Ayurveda Industry. Para minimizar el potencial de volatilización o biodegradación entre el muestreo y el análisis, las muestras se mantuvieron lo más frías posible sin congelarse.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b>  Una instalación de vermifiltro a escala de laboratorio consiste en un tanque de plástico cilíndrico de paredes lisas de 26 cm de longitud y 17 cm de diámetro. La sección inferior se asemeja a un filtro de goteo que consta de capas sucesivas de guijarros, ladrillos, grava y arena fina colocadas de abajo hacia arriba.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b>  Se utilizó material de cama compuesto por paja, estiércol de vaca y restos de verduras después de una esterilización adecuada en la capa superior de vermicompost.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b>  Los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron en el presente trabajo fueron pH, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, DBO, aceites y grasas, fósforo total, nitrógeno total, sulfato, cromo, níquel y cobre.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b>  Se tomaron 100 ml de efluente ayurvédico en tres matraces cónicos de 500 ml cada uno. Cada matraz cónico fue inoculado con cepa productora de proteasa (<i>Bacillus</i> sp), cepa productora de lipasa (<i>Bacillus</i> sp) y consorcio (Mezcla de cepas productoras de proteasa y lipasa) con 1 ml de cultivos nocturnos e incubados a 37 ° C a 100 rpm durante 24 horas.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b>  El tiempo de retención hidráulica varió durante 24, 48 y 72 horas respectivamente y se estudió la reducción de DBO y DQO.</p>
<p><b>Eficiencia</b>  El agua vermifiltrada final mostró una reducción significativa de DQO en un 98,03%, DBO en un 98,43%, 92,58%. El agua resultante estaba lo suficientemente limpia y desinfectada para ser reutilizada para riego.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b>  Das, D. C., Joseph, M., &amp; Varghese, D. (2015). INTEGRATED MICROBIAL-VERMIFILTRATION TECHNIQUE FOR AYURVEDIC INDUSTRIAL EFFLUENTS. International Journal of Engineering Research and General Science.</p>

**Tabla 41.** Ficha bibliográfica

<p><b>36. Nombre del artículo</b> Greywater treatment by vermifiltration for sub-Saharan urban poor</p>	<p><b>Escala</b> Realizar pruebas a intervalos de tiempo más largos para escalas de laboratorio y piloto.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Se investigó el tratamiento de las aguas grises recolectadas en una zona de tugurios urbanos de Ouagadougou, Burkina Faso, mediante vermifiltración.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> Las aguas grises se recogieron diariamente en un recipiente de plástico de 60 L de un hogar urbano pobre cerca del sitio de investigación, el sistema de filtración estuvo compuesto por una tubería de PVC cilíndrica de 200 mm de diámetro y 70 cm de profundidad.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> El medio filtrante estaba formado por una capa de arena (40 cm de espesor, tamaño de partículas 0.08-16 mm), una capa de grava de tamaño mediano (5 cm de espesor, tamaño de grano 20-40 mm) y una capa de grava gruesa (5 cm de espesor, tamaño de grano 10-20 mm), de arriba a abajo. La arena tiene un coeficiente de uniformidad de 1,36, un tamaño efectivo de 0,118 y una densidad de 1517,6 kg / m<sup>3</sup>. Para eliminar el polvo y otros materiales, el medio filtrante se lavó con agua del grifo antes de introducirlo en la tubería de PVC. El aserrín fino, compuesto de <i>Khaya ivorensis</i>, <i>Mansonia altissima</i>, <i>Milicia excelsa</i> especies de árboles, se recogió de la carpintería cercana. El pH promedio fue de 6.47 con una densidad de 96 kg / m<sup>3</sup>.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> Los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron en el presente trabajo fueron DBO5 (mg / L), DQO (mg / L), TSS (mg / L), pH, Conductividad (μS / cm), <i>Escherichia coli</i> (CFU / 100mL) Coliformes, termotolerantes (CFU / 100mL) y Temperatura (WC).</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Los experimentos por lotes se realizaron a temperatura ambiente, con una tasa de carga hidráulica de 64 y 191 L m<sup>2</sup> D.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> La filtración aumentó la eficiencia de eliminación general de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO) y el total de sólidos en suspensión (SST) en un promedio del 10% durante 2 3 h del tiempo de retención.</p>
<p><b>Eficiencia</b> Las eficiencias medias de eliminación de DBO5, COD, TSS, E. coli y coliformes termotolerantes a HLR de 191 L m<sup>2</sup> D 1 fueron 71%, 62%, 91%, 0,95 unidades logarítmicas y 0,98 unidades logarítmicas para el vermifiltro, respectivamente, y 59%, 56%, 85%, 0,93 unidades logarítmicas y 0,90 unidades logarítmicas, respectivamente, para la unidad de control.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Adugna, A. T., Andrianisa, H. A., Konate, Y., Ndiaye, A., &amp; Maiga, A. H. (2014). Greywater treatment by vermifiltration for sub-Saharan urban poor. Ouagadougou : Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Developmen.</p>

**Tabla 42.** Ficha bibliográfica

<p><b>37. Nombre del artículo</b> Earthworm–microorganism interactions: A strategy to stabilize domestic wastewater sludge</p>	<p><b>Escala</b> El tratamiento de aguas residuales domésticas mediante lecho filtrante de vermicompost a pequeña escala.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Un vermifiltro que contiene la lombriz de tierra, Eisenia foetida, (VF) para el tratamiento de lodos de aguas residuales domésticas se compararon con los mecanismos de interacción lombriz-microorganismo involucrados en la estabilización de lodos.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> El tamaño del reactor VF es de 36 cm (largo) x 36 cm (ancho) x 36 cm (alto). Tiene una unidad de filtrado superior y una unidad de recogida inferior.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> Las unidades de filtrado se llenaron con grava, arena y tierra de jardín. La mayoría de las capas inferiores se llenaron hasta 7 cm con grava agregada de tamaño 10-20 mm, seguida de grava de tamaño 2-4 mm hasta 7 cm, arena de tamaño 1-2 mm hasta 7 cm y la parte superior más capa con tierra de jardín hasta 7 cm.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> Se recolectaron agua de filtro VF y NVF en la unidad de recolección y se analizaron los parámetros físico-químicos como pH, Conductividad Eléctrica (CE), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales (TS), Sólidos Suspendidos Totales (TSS) y Sólidos Disueltos Totales (TDS).</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Se llenaron bidones de plástico de 10 L de capacidad con grifo con 6 L de Dairy Wastewater (DW). Estos tambores se mantuvieron en una plataforma elevada cerca del reactor VF. Un extremo del tubo de goma flexible se colocó en el grifo del tambor de plástico y el otro extremo se colocó sobre el reactor VF.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> El tiempo de retención hidráulica (HRT) en el lecho del vermifiltro se mantuvo uniformemente durante 8-10 horas en todos los experimentos.</p>
<p><b>Eficiencia</b> La eficiencia de eliminación promedio de DW se registró como 87% mientras que en NVF la reducción de DQO se representó como 54% respectivamente. Trabajadores anteriores también informaron una reducción significativa en la carga de DQO durante los procesos NVF y VF y para eficiencias de eliminación del sistema VF eran del 90% para DQO de aguas residuales doméstica.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Natarajan, N., Kannadasan, N., &amp; Krishnamoorthy, R. (2015). EFFECT OF EARTHWORMS ON DAIRY WASTEWATER TREATMENT THROUGH VERMIFILTRATION. Tiruchirappalli: Research Department of Chemistry JAMAL MOHAMED COLLEGE.</p>

**Tabla 43.** Ficha bibliográfica

<p><b>38. Nombre del artículo</b> EFFECT OF EARTHWORMS ON DAIRY WASTEWATER TREATMENT THROUGH VERMIFILTRATION</p>	<p><b>Escala</b> Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de vermifiltración a escala piloto.</p>
<p><b>Tipo de agua</b> Vermifiltro que contiene la lombriz de tierra, Eisenia foetida, (VF) para el tratamiento de lodos de aguas residuales domésticas se compararon con los mecanismos de interacción lombriz-microorganismo involucrados en la estabilización de lodos.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b> Un vermifiltro cilíndrico (30 cm de diámetro y 60 cm de profundidad) que estaba ventilado naturalmente estaba equipado con una tubería de polipropileno de 0,5 pulgadas con orificios para garantizar una distribución uniforme del afluente.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b> El vermifiltro contenía un lecho de filtro de 0,5 m de gránulos cerámicos (de 6 a 9 mm de diámetro). Se colocó una capa de fibra plástica en la parte superior del lecho del filtro para evitar el impacto hidráulico directo sobre las lombrices de tierra y asegurar una distribución uniforme del afluente. El lodo afluente se introdujo en el vermifiltro mediante una bomba peristáltica. Después de pasar por el lecho filtrante, el lodo tratado entró en un tanque de sedimentación debajo del vermifiltro y se recicló el sobrenadante en el tanque de sedimentación.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> Demanda total de oxígeno química (TCOD) y DQO soluble (SCOD) se midieron utilizando un medidor de DQO NOVA60 (Merck, Alemania), y las muestras para la medición de SCOD se filtraron primero a través de un filtro de 0.45-µm filtro de membrana.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Las cargas hidráulicas de estos filtros se mantuvieron a 3 m / d durante el período experimental.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> Tiempo de residencia en el vermifiltro es de 24 h aproximadamente.</p>
<p><b>Eficiencia</b> La reducción de VSS aumentó de 30,7 a 40,9% (con un valor medio de 35,1%) sin lombrices de tierra a 56,2-66,6% (con un valor medio de 60,2%) con lombrices de tierra. Por lo tanto, la presencia de lombrices de tierra en el VF mejoró en gran medida la estabilización del lodo al inducir una Reducción del 25,1% en VSS.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Wang, Y., Meiyan, X., &amp; Li, X. (2010). Earthworm–microorganism interactions: A strategy to stabilize domestic wastewater sludge. PubMed.</p>

**Tabla 44.** Ficha bibliográfica

<p><b>39. Nombre del artículo</b> DECENTRALIZED WASTE WATER TREATMENT BY VERMIFILTRATION USING RIVER BED MATERIAL</p>	<p><b>Escala</b> A nivel de pequeña a escala piloto, se lleva a cabo varios estudios sobre vermifiltración y tiende a ser un método potencial para el tratamiento de aguas residuales.</p>
<p><b>Tipo de agua</b></p>	

<p>El presente trabajo trata sobre el tratamiento de aguas residuales por vermicología donde el material del lecho del río se utiliza como medio filtrante.</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b>          En este estudio se tomaron dos conjuntos de reactores, uno es vermifiltro y otro es geofiltro. Ambos se tomaron por triplicado. Los reactores consistían en un recipiente de plástico que tenía unas dimensiones de 255 mm x 300 mm x 300 mm.</p>	
<p><b>Tipos de medios</b>          Se utilizaron cuatro capas de material en ambas unidades. La capa superior se facilitó con rejillas (5 cm de espesor) y la segunda capa de la parte superior fue grava con un tamaño de 6 a 8 mm (10 cm de espesor) y la tercera capa consistió en grava con un tamaño de 1 a 2 mm (5 cm de espesor). y la capa inferior que actúa como capa de soporte, facilitada con grava de tamaño de 10 a 12,5 mm (5 cm de espesor). Todas las gravas utilizadas fueron materiales de lecho de río. Especies de lombrices de tierra <i>Eisenia Fetida</i> se utilizó para este estudio. Cada uno de los vermifiltros se inoculó con 270 lombrices de tierra según la densidad de la población de 12.000 / cum de lecho filtrante.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b>          Las aguas residuales tratadas se analizaron para determinar la DBO, DQO, sólidos suspendidos totales (TSS), sólidos disueltos totales (TDS), carbono orgánico total (TOC), nitrato.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b>          Tasa de carga hidráulica de 2,5 m<sup>3</sup>metro-2D-1 durante el cual las lombrices de tierra aumentaron a 326.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b>          El tiempo de retención hidráulico en el que se demoró el agua el filtrar por todas las capas con óptimo funcionamiento de 5 a 20 días respectivamente.</p>
<p><b>Eficiencia</b>          La DBO, DQO, TSS, TDS se redujeron en un 96%, 89%, 90% 82% respectivamente a una tasa óptima.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b>          RenuBhargava, JyotiVerma, Prasad, K. H., &amp; Kuma, T. (2011). DECENTRALIZED WASTE WATER TREATMENT BY VERMIFILTRATION USING RIVER BED MATERIAL. Indian Institute of Technology Roorkee.</p>

**Tabla 45.** Ficha bibliográfica

<p><b>40. Nombre del artículo</b>          Earthworm effects on gaseous emissions during vermifiltration of pig fresh slurry</p>	<p><b>Escala</b>          Se realizó a escala local o global, y que permitiera a los productores certificar la reducción de las fugas contaminantes y el aumento de la eficiencia.</p>
<p><b>Tipo de agua</b>          Aguas residuales de una porqueriza con 30 cerdas con 4-6 lavados por día (800 L de agua por lavado).</p>	
<p><b>Volúmenes del reactor</b>          En este sitio, un vermifiltro de 48 m<sup>2</sup> en el área y 0,5 m de altura está en uso desde 2007. La mayoría de las lombrices de tierra son <i>Eisenia andrei</i> (Bouché) y <i>Eisenia fetida</i> (Savigny). La forma de los mesocosmos era cilíndrica con 0,5 m de altura y 0,55 m de diámetro (0,237 m<sup>2</sup>)</p>	



<p><b>Tipos de medios</b> La capa inferior de material retuvo las lombrices de tierra. En todos los mesocosmos se utilizó la misma cantidad de material vermifiltro, con o sin lombrices. Se mezcló la misma cantidad de aserrín y astillas de madera con el material de cada mesocosmo para asegurar un espacio de aire libre inicial y promover la organización del nitrógeno durante el experimento, incluso en el tratamiento con altos aportes de lechada.</p>	
<p><b>Parámetros fisicoquímicos</b> Se analiza si las lombrices de tierra modifican las emisiones de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> y compaña<sup>2</sup> durante la vermifiltración de purines de cerdo.</p>	
<p><b>Carga Hidráulica</b> Los tres niveles de entrada de aguas residuales fueron 1, 3 y 14 L, dos veces al día. En el tratamiento con lombrices y 28 L al día<sup>1</sup>, se observó rápidamente una obstrucción.</p>	<p><b>Tiempo de retención hidráulica</b> Durante el primer período de 2 semanas, entre dos muestreos de vermicompost, la cantidad de lechada añadida se redujo por tanto a la cantidad máxima que podía filtrarse a través del sistema.</p>
<p><b>Eficiencia</b> Cuando se expresan en relación con una variable de flujo como la entrada de nitrógeno, las emisiones observadas en el presente trabajo fueron bajas, 0,4–0,9% de la entrada de nitrógeno.</p>	<p><b>Referencia bibliográfica</b> Robin, P., Germain, P., Lecomte, M., Landrain, B., Li, Y., &amp; Cluzeau, D. (2010). Earthworm effects on gaseous emissions during vermifiltration of pig fresh slurry. China: d Shanghai Jiao Tong University, Department of Environmental Science and Technology, School of Agriculture and Biology, Dongchuan Road, Shangha.</p>

**Tabla 46.** Ficha bibliográfica

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- El País . (2017). *Foro Ambiental* . Obtenido de Foro Ambiental : <https://www.foroambiental.net/archivo/noticias-ambientales/recursosnaturales/2099-aguas-residuales-un-problema-mundial-que-tambien-aumenta-labrecha-entre-ricos-y-pobres>
- ACOSTA, F. J., & MONTÚFAR, G. V. (2020). *INCIDENCIA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA Y LENTEJA DE AGUA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS*. Guayaquil Ecuador: Editorial Compás.
- Adugna, A. T., Andrianisa, H. A., Konate, Y., Ndiaye, A., & Maiga, A. H. (2014). *Greywater treatment by vermifiltration for sub-Saharan urban poor*. Ouagadougou : Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Developmen.
- Andrade, V. G. (2015). *VERMIFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES* . Universidad de Las Américas sede Queri.
- Angathekar, V. S., & Patil, Y. M. (2021). *Performance Evaluation of Laboratory Scale Vegetated Vermifilter for Domestic Wastewater*. India: International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).
- Arora, S., Rajpal, A., & Kumar, T. (2015). *An Eco-friendly and Innovative Technology for Wastewater Treatment*. Springer Nature Editores.
- Bajsa, O., Jaya, N., Mathew, K., & Ho, G. (2003). *Vermiculture as a tool for domestic wastewater management*. Municipal Solid Waste Management in the BRIC and High-Income Countries.
- Baumgartner, R. (2013). *Developing a Testing Protocol for Vermifiltration-based Onsite Wastewater Treatment Systems (VOWTS)*. Murdoch University .
- Camargo, S. P. (2018). *Aplicación de vermifiltros para reducir el DQO y DBO del agua residual de un Laboratorio de Análisis Químico*. LIMA – PERÚ: Universidad César Vallejo .
- Cardoso, L., Ramírez, E., & Garzón, M. (2010). *EVALUACIÓN DE UN VERMIFILTRO PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. MÉXICO. C. P: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- CASTELLANOS, E. C. (2019). *ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÒMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA TOHÁ (LOMBRIFILTRO) PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE TINJACÁ- BOYACÁ*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- DACASA, F. R. (2012). *REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y TOXICIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA COSMÉTICO - FARMACÉUTICA*

CON UN VERMIFILTRO. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

- Das, D. C., Joseph, M., & Varghese, D. (2015). *INTEGRATED MICROBIAL-VERMIFILTRATION TECHNIQUE FOR AYURVEDIC INDUSTRIAL EFFLUENTS*. International Journal of Engineering Research and General Science.
- DELGADO, E. P., & CASTAÑEDA, J. P. (2016). *EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA A PARTIR DE LOMBRICES DE TIERRA (EISENIA FOETIDA) EN AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE INDUSTRIAS LÁCTEAS A NIVEL LABORATORIO*. BOGOTÁ D.C.: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.
- ESPINOZA, B. A., & SANTIAGO, M. S. (2021). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS DE LA INDUSTRIA LÁCTEA, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE DOS VERMIFILTROS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA EN LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO*. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- FLORES, F. E. (2019). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE VERMIFILTROS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE IBARRA*. IBARRA: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Franco, A. N. (2017 ). *ANÁLISIS DE LA FIBRA DE COCO COMO MATERIAL FILTRANTE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA LAVADORA Y LUBRICADORA DE AUTOS "IZURIETA" UBICADA EN EL CANTÓN CEVALLOS PROVINCIA DE TUNGURAHUA*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- García, M. d. (2016). *Reflexiones sobre el Derecho de Aguas en Colombia (pp.173 - 218)*. Universidad Externado de Colombia.
- Garkal, D. J., Mapara, J., & Prabhune, M. (2015). *DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT BY BIO-FILTRATION: A CASE STUDY*. International Journal of Science, Environment.
- Garzón-Zúñiga, M. A., Buelna, G., & Moeller-Chávez, G. E. (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnología y ciencias del agua*.
- Ghatnekar, S. D., Kavian, M. F., Sharma, S. M., Ghatnekar, S. S., Ghatnekar, G. S., & Ghatnekar, A. V. (2010). *Application of the effluent treatment plant based on Vermi filters (Pilot scale) for Liquid Effluent Bigestion*. Global Science Books.
- Guerrero, P. A., Díaz, J. M., & Moreno, O. D. (2020). *Evacuación de dos lechos filtrantes en un vermifiltro a escala laboratorio* . Universidad Mariana.

- Guruprasad, A. (2015). *Design and Suitability of Modular Vermifilter for Domestic Sewage Treatment*. India: internacional de investigación y tecnología de ingeniería emergente.
- Ispolnov, K., Aires, L. M., Lourenço, N. D., & Vieira, j. S. (2021). *A Combined Vermifiltration-Hydroponic System for Swine Wastewater Treatmen*. Laboratory of Separation and Reaction Engineering-Laboratory of Catalysis and Materials (LSRE-LCM).
- Jurado, M. A., & Ramírez., C. (2017). *Revisión sistemática de técnicas no convencionales para la evaluación de la calidad del agua de ríos contaminados con plaguicidas*. Entre Ciencia e Ingeniería, ISSN 1909-8367.
- Kharwadea, M., & KhedikarB, I. P. (2011). *LABORATORY SCALE STUDIES ON DOMESTIC GREY WATER THROUGH VERMIFILTER AND NON-VERMIFILTER*. Universidad Rashtra Sant Tukdoji Maharaj Nagpur.
- Lina Cardoso Vigueros, Esperanza Ramírez Camperos, Marco Garzón-Zúñiga, Ernesto Bahena Castro, Elizabeth Morales Albavera, Fabricio Raciél Cervantes Decasa, & Ing. Janeth Enriquez Diaz. (2011). *VERMIFILTRACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA.
- Mendoza, L. V., & Molina, N. F. (2016). EFECTOS DE Eisenia foetida y Eichhornia crassipes EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, NUTRIENTES Y COLIFORMES EN EFLUENTES DOMÉSTICOS. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*.
- Misal, N., & NitishA.Mohite. (2017). *Community Wastewater Treatment By Using Vermifiltration Technique* . ternational Journal of Engineering Research and Technology.
- Moreno, O. D., & Díaz, J. M. (2018). *Preparación y composición de agua residual sintetica para ser alimentada en vermifiltros a escala laboratirio*. Universidad Mariana.
- Nahid Ghobadi, I. R., Rahmani, A. R., Samadi, M. T., & KazemGodini. (2016). *Performance of A Pilot-Scale Vermifilter for the Treatment of A Real Hospital Wastewater*. Universidad de Ciencias Médicas de Hamadan, Hamadan, Irán.
- Natarajan, N., Kannadasan, N., & Krishnamoorthy, R. (2015). *EFFECT OF EARTHWORMS ON DAIRY WASTEWATER TREATMENT THROUGH VERMIFILTRATION*. Tiruchirappalli: Research Department of Chemistry JAMAL MOHAMED COLLEGE.
- Patel, J., & Gajera, Y. M. (2011). *Treatment of Sewage by Vermifiltration*. College of Engineering Ahmedabad.

- PAZMIÑO, C. E. (2018). “*ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA TASA HIDRÁULICA EN LA BIODEGRADACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS TRATADAS POR SISTEMAS NO CONVENCIONALES DE VERMIFILTRACIÓN*”. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Quintero, A. F. (2016). *El problema de los vertimientos: con el agua (¡sucia!) hasta el cuello*. Obtenido de [https://www.icesi.edu.co/blogs\\_estudiantes/gapi/2016/06/18/el-problema-de-los-vertimientos-con-el-agua-sucia-hasta-el-cuello/](https://www.icesi.edu.co/blogs_estudiantes/gapi/2016/06/18/el-problema-de-los-vertimientos-con-el-agua-sucia-hasta-el-cuello/)
- RenuBhargava, JyotiVerma, Prasad, K. H., & Kuma, T. (2011). *DECENTRALIZED WASTE WATER TREATMENT BY VERMIFILTRATION USING RIVER BED MATERIAL*. Indian Institute of Technology Roorkee.
- Rivera, R. J. (2020). “*REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS MEDIANTE UN PROCESO DE VERMIFILTRACIÓN Y JACINTO DE AGUA (EICHHORNIA CRASSIPES) DEL ASENTAMIENTO HUMANO LOMAS DE ZAPALLAL – DISTRITO DE PUENTE PIEDRA – LIMA*”. Lima - Perú: UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE .
- Robin, P., Germain, P., Lecomte, M., Landrain, B., Li, Y., & Cluzeau, D. (2010). *Earthworm effects on gaseous emissions during vermifiltration of pig fresh slurry*. China: d Shanghai Jiao Tong University, Department of Environmental Science and Technology, School of Agriculture and Biology, Dongchuan Road, Shangha.
- Sánchez, G. M. (2020). *VERMIFILTRACIÓN CON LOMBRIZ ROJA (Eisenia foetida) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Lima – Perú: Universidad Científica del Sur.
- Singh, K., & Bhatia, T. (2020). *PERFORMANCE EVALUATION OF VERMIFILTRATION TECHNOLOGY FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER USING DETOXIFYING EARTHWORMS: A CASE STUDY*. India: Delhi Technological University.
- Vicente, D. L. (2020). *PROYECTO DE ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN LAS PALMERAS DE SAN FERNANDO. CUELA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Wang, Y., Meiyang, X., & Li, X. (2010). *Earthworm–microorganism interactions: A strategy to stabilize domestic wastewater sludge*. PubMed.
- Xing, M., Li, X., & Yang, J. (2010). *Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity*. Tongji, Shanghai: Revista Africana de Biotecnología Vol. 9 (44), págs. 7513-7520.

Andrade, V. G. (2015). *VERMIFILTROS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Universidad de Las Américas sede Quito. Tomado de:  
<http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4470/1/UDLA-EC-TIAM-2015-17.pdf>

Barragan Ponce, R., & Espinoza Fernandez, A. M. (2019). *Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas*. LIMA – PERÚ: ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA. Tomado de:  
[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40253/Espinoza\\_FAM-Barragan\\_PR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40253/Espinoza_FAM-Barragan_PR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)