



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DEPARTAMENTO DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN HIDROSANITARIA

“DETERMINACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA E HIDRÁULICA
MÁXIMA DE OPERACIÓN EN UN SISTEMA DE VERMIFILTRACIÓN A
ESCALA DOMÉSTICA”

Trabajo previo a la obtención del título de:

MAGÍSTER EN HIDROSANITARIA

Autores:

Ing. David Eduardo Sánchez Santander

Ing. Cristhian Marcelo Urgiles Fernández

Director:

Ing. Andrés Omar Alvarado Martínez, PhD

Codirector:

Ing. Juan Fernando Cisneros Ramos, PhD

CUENCA, ECUADOR

2024

DEDICATORIA

Mi dedicatoria va dirigida a toda mi familia ya que ellos siempre apoyan mi superación intelectual y cultural, contribuyen infinitamente en cada una de las etapas de mi vida y siempre puedo contar con ellos.

David Eduardo Sánchez Santander

DEDICATORIA

A mis padres, Alba y Marcelo, quienes han guiado mi camino hacia la responsabilidad y los valores, tanto en lo personal como en lo profesional, siempre brindándome su apoyo de manera incondicional.

A mi hija Cristina, mi fuente constante de inspiración que me impulsa cada día. Mis logros están dedicados a ella. A mi esposa Yanela, quien, con paciencia y tolerancia, ha sido mi apoyo inquebrantable incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos Andrea y Martín por su apoyo diario, sus valiosos consejos y virtudes. A María, que ha sido como una hermana para mí, siempre presente en cada momento.

Cristhian Marcelo Urgiles Fernández

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento lo dirijo a mis padres, Zoila y Jaime que siempre me brindan su apoyo incondicional, también agradezco a mi hermano mayor Fernando por ser un pilar fundamental en mi todo desarrollo.

David Eduardo Sánchez Santander

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la vida y permitirme alcanzar nuevos logros, siempre bajo su bendición. Expreso mi profundo agradecimiento a mis padres y hermanos, quienes han sido pilares en mi trayectoria profesional, brindándome su apoyo incondicional como familia.

A mi hija y a mi esposa, les agradezco por acompañarme en esta nueva etapa de mi vida, brindándome el ánimo necesario para seguir adelante juntos.

Quiero expresar un reconocimiento especial a nuestros tutores, el Ing. Andrés Alvarado y el Ing. Juan Cisneros, cuya experiencia y conocimiento nos han guiado en la elaboración de este proyecto, contribuyendo a nuestra superación profesional y personal.

Extiendo mi agradecimiento sincero a la Universidad del Azuay y a sus docentes, quienes nos han abierto las puertas para crecer como profesionales en beneficio de la sociedad.

Cristhian Marcelo Urgiles Fernández

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Antecedentes	12
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo general.....	12
1.2.2. Objetivos específicos	12
1.3. Hipótesis	12
1.4. Justificación	13
1.5. Estructura del trabajo	13
2. CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	15
2.1 Aguas residuales domésticas.....	15
2.2.1 Caracterización de las aguas residuales domésticas.....	15
2.3 Tecnologías Convencionales y no Convencionales	16
2.3.1 Tecnologías convencionales	16
2.3.2 Tecnologías no convencionales	16
2.4 Sistemas de Vermifiltración.....	16
2.5 Composición del vermifiltro	17
2.5.1 Zona activa – Primera capa.....	18
2.5.2 Capas de filtración mineral	18
2.6 Rol de las lombrices eisenia foetida.....	20
2.7 Adaptabilidad de las lombrices	21
2.8 Población de lombrices	22
2.9 Parámetros de diseño para vermifiltros.....	23
2.9.1 Carga hidráulica	23
2.9.2 Tiempo de retención hidráulico	26
2.9.3 Carga orgánica	27
3. CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Tipo de investigación	30
3.2. Identificación de la zona en estudio	30

3.3.	Caracterización del agua residual doméstica	30
3.4.	Elaboración del agua residual sintética	31
3.4.1	Proceso para la preparación del sustrato sintético.....	32
3.4.2	Limitantes del proceso de preparación.....	32
3.5.	Montaje del vermifiltro	33
3.5.1	Contenedor	33
3.5.2	Adecuación del contenedor.....	33
3.5.3	Dimensionamiento del vermifiltro	34
3.5.4	Estratos.....	34
3.6.	Aclimatación de las lombrices	35
3.7.	Sistema de distribución y riego del vermifiltro.....	36
3.8.	Determinación de la carga hidráulica máxima.....	37
3.8.1	Análisis de datos	37
3.9.	Experimentación	39
3.9.1	Primer ensayo.....	39
3.9.2	Segundo ensayo.....	39
3.9.3	Tercer ensayo	40
3.10.	Metodología de los análisis de laboratorio.....	40
4.	CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1	Resultados del diseño factorial	41
4.2	Determinación de la dosificación de carga hidráulica	42
4.3	Población de lombrices	42
4.4	Componentes finales del agua residual sintética, ensayo 2 y 3.....	42
4.5	Análisis de resultados del ensayo 1.....	43
4.6	Análisis de resultados del ensayo 2.....	44
4.7	Análisis de resultados del ensayo 3.....	44
4.8	Discusión.....	45
4.8.1	Carga orgánica e hidráulica máxima.....	45
4.8.2	Evaluación de la eficiencia del vermifiltro	46
4.8.3	Relación DQO/ DBO5	48
4.8.4	Impacto en las lombrices.....	48
	CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
5.1	Conclusiones	50
5.2	Recomendaciones.....	51
	CAPITULO 6. BIBLIOGRAFÍA	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un vermifiltro, adaptado por Singh et al (2017).....	17
Figura 2. Capa activa del vermifiltro en la estación piloto de tecnologías descentralizadas de tratamiento de agua residual	18
Figura 3. Adaptación de un sistema de vermifiltración Das & Paul (2023).....	19
Figura 4. Representación esquemática de la eliminación de materia orgánica Gutiérrez et al.,(2023)	20
Figura 5. Estación piloto de tecnologías descentralizadas de tratamiento de agua residual	30
Figura 6. Dimensiones del contenedor para el Vermifiltro	33
Figura 7. Vermifiltro para la experimentación	33
Figura 8. Conformación del vermifiltro y sus estratos	34
Figura 9. Compostaje elaborado a base de residuos orgánicos	36
Figura 10. Sistema de distribución de agua residual para el vermifiltro	36
Figura 11. Figura Irrigación del vermifiltro	37
Figura 12. Resultado del diseño factorial en función del caudal máximo.....	41
Figura 13. Eficiencia de remoción de DBO ₅ y DQO Ensayo 1.....	43
Figura 14. Eficiencia de remoción de DBO ₅ y DQO del ensayo 2.....	44
Figura 15. Eficiencia de remoción de DBO ₅ y DQO del ensayo 3.....	45
Figura 16. Carga orgánica e hidráulica máxima.....	46
Figura 17. Relación de eficiencias en términos de DBO ₅	47
Figura 18. Lombriz californiana eisenia foetida durante el proceso de vermifiltración..	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Población de lombrices usadas en experimentos de vermifiltración.....	23
Tabla 2.	Tasa de carga hidráulica recomendada en experimentos	25
Tabla 3.	Tiempos de retención hidráulica en experimentos de vermifiltración	27
Tabla 4.	Parámetros de operación en experimentos de vermifiltración	29
Tabla 5.	Composición del sustrato sintético para preparar agua residual	31
Tabla 6.	Volumen del vermifiltro.....	34
Tabla 7.	Experimentos de vermifiltración considerados en el diseño factorial.....	39
Tabla 8.	Ensayos obtenidos para la experimentación de vermifiltración.....	41
Tabla 9.	Cálculos hidráulicos del sistema de distribución	42
Tabla 10.	Dosificación de componentes para el ensayo 2 y 3.....	43
Tabla 11.	Tabla Relación DQO/ DBO ₅	48

**“DETERMINACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA E HIDRÁULICA MÁXIMA
DE OPERACIÓN EN UN SISTEMA DE VERMIFILTRACIÓN A ESCALA
DOMÉSTICA”**

RESUMEN

La presente investigación está basada en el tratamiento de aguas residuales domésticas a través de un sistema de vermifiltración, una alternativa biológica y de bajo costo, compuesto por diferentes estratos inertes como piedra de soporte, grava, piedra pumita, vermicompostaje, y un agente biológico activo como es la lombriz californiana *Eisenia foetida*, y humus. Para la adaptación de la lombriz californiana *Eisenia foetida* fue necesario aclimatarle a la zona de estudio durante 21 días en un recipiente con vermicompostaje en donde se vertía agua residual doméstica en un cierto periodo de tiempo. Demostrando una tasa de mortalidad casi nula.

Se evaluó diferentes ensayos de laboratorio variando la carga hidráulica entre 0.5 y 2.25 m³/día y la carga orgánica en términos de DBO₅ que oscilan entre 82 mg/l a 337 mg/l con la elaboración de agua residual sintética. El tratamiento implementado mediante este sistema demostró ser altamente efectivo, logrando eficiencias del 95.78 % en la reducción de la DBO₅ y del 96.55 % en la disminución de la DQO. Aunque se buscaba mantener el índice de biodegradabilidad DQO/DBO₅ por debajo de 2.5, se registró una relación de 3.31 en uno de los ensayos; no obstante, los resultados obtenidos fueron eficientes.

La vermifiltración se ha destacado por su notable eficacia en el tratamiento de aguas residuales domésticas, evidenciando su capacidad para mantener altos niveles de rendimiento incluso ante variaciones en las cargas orgánicas e hidráulicas. Este sistema demuestra su eficiencia al adaptarse a diferentes condiciones, ofreciendo así una solución fiable y efectiva para el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: vermifiltros, carga orgánica, carga hidráulica, agua residual sintética, eficiencia de remoción.



David Eduardo Sánchez Santander



Cristhian Marcelo Urgiles Fernandez

Autores



Ing. Andrés Omar Alvarado Martínez, PhD

Director de tesis

**"DETERMINATION OF MAXIMUM ORGANIC AND HYDRAULIC OPERATION
LOAD IN A DOMESTIC-SCALE VERMIFILTRATION SYSTEM"**

ABSTRACT

This research is based on the treatment of domestic wastewater through a vermifiltration system, a low-cost biological alternative, composed of different inert layers such as support stone, gravel, pumice stone, vermicomposting, and an active biological agent, the Californian earthworm *Eisenia foetida*, and humus. For the adaptation of the Californian earthworm *Eisenia foetida*, it was necessary to acclimate it to the study area for 21 days in a container with vermicomposting, where domestic wastewater was poured at specific time intervals, demonstrating an almost null mortality rate.

Different laboratory tests were evaluated varying the hydraulic load between 0.5 to 2.25 m³/day and the organic load in terms of BOD₅ ranging from 82 mg/l to 337 mg/l, using synthetic wastewater preparation. The treatment implemented through this system proved to be highly effective, achieving efficiencies of 95.78% in BOD₅ reduction and 96.55% in COD reduction. Although the aim was to maintain the biodegradability index COD/BOD₅ below 2.5, a ratio of 3.31 was recorded in one of the trials; nevertheless, the results obtained were efficient.

Vermifiltration has been distinguished for its remarkable efficacy in treating domestic wastewater, demonstrating its ability to maintain high performance levels even in the face of variations in organic and hydraulic loads. This system demonstrates its efficiency by adapting to different conditions, providing a reliable and effective solution for wastewater treatment.

Keywords: vermifilters, organic load, hydraulic load, synthetic wastewater, removal efficiency



David Eduardo Sánchez Santander



Cristhian Marcelo Urgiles Fernandez

Authors



Ing. Andrés Omar Alvarado Martínez, PhD

Thesis director