

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN VERMIFILTRO CON LA ESPECIE *EISENIA FOETIDA* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE USO DOMÉSTICO

\* Flor Angela Meza Pinedo <sup>1</sup>

### EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF A VERMIFILTER WITH THE *EISENIA FOETIDA* SPECIES FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER FOR DOMESTIC USE

Recibido el 26 de enero de 2022. Aceptado el 7 de junio de 2022

#### Abstract

The vermifilter with the species *Eisenia Foetida* to treat wastewater for domestic use had a flow rate of 217 L/d, a Hydraulic Head (CH) of 150 ml/m<sup>2</sup>.min and a Hydraulic Retention Time (HRT) of 5.7 days. Wastewater samples without treatment and with treatment were analyzed on three dates, every 7 days, and the following results were obtained: Total Suspended Solids (TSS) from 1708 mg/L to 32 mg/L on the first date, 321 mg/L to 34 mg/L on the second and 154 mg/L to 2.5 mg/L on the third date. Total Nitrogen (NT) from 13.05 mg/L to 0.32 mg/L, from 3.04 mg/L to 0.19 mg/L and 2.75 mg/L to 0.09 mg/L. Total Phosphorus (PT) from 1 mg/L to 0.568 mg/L, from 1 mg/L to 0.23 mg/L and 0.302 mg/L to 0.092 mg/L. Oils and Fats (AyG) from 72.5 mg/L to 2 mg/L, from 4.3 mg/L to 2 mg/L and 19.8 mg/L to 2 mg/L. Chemical Oxygen Demand (COD) from 3210 mg/L to 201 mg/L, from 1110 mg/L to 101 mg/L and 434 mg/L to 84 mg/L. Biochemical Oxygen Demand (BOD) from 1690 mg/L to 112 mg/L, from 572 mg/L to 48 mg/L and 230 mg/L to 40 mg/L respectively. Total Coliforms (TC) from 7.0E+07 NMP/100mL to 2.6E+06 NMP/100mL, 1.1E+08 NMP/100mL to 5.4E+05 NMP/100mL and 4.7E+07 NMP/100mL to 3.5E+04 NMP/100mL. It is concluded that the vermifilter with the *Eisenia Foetida* species is efficient to treat wastewater for domestic use.

**Keywords:** wastewater for domestic use, efficiency, treatment, vermifilter.

<sup>1</sup> Facultad de ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú.

\* *Autor correspondiente:* Facultad de ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Dirección Jr. Los Mártires, Nro.340-Morales, Tarapoto, San Martín, Perú. Código Postal 22202. Email: [flor.mezap@gmail.com](mailto:flor.mezap@gmail.com)

## Resumen

El vermifiltro con la especie *Eisenia Foetida* para tratar aguas residuales de uso doméstico tuvo un caudal de 217 L/d, una Carga Hidráulica (CH) de 150 ml/m<sup>2</sup>.min y Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 5.7 días. Se analizaron muestras de agua residual sin tratamiento y con tratamiento, en tres fechas, cada 7 días y se obtuvieron los siguientes resultados: Sólidos Suspendidos Totales (SST) de 1708 mg/L a 32 mg/L en la primera fecha, 321 mg/L a 34 mg/L en la segunda y 154 mg/L a 2.5 mg/L en la tercera fecha. Nitrógeno Total (NT) de 13.05 mg/L a 0.32 mg/L, de 3.04 mg/L a 0.19 mg/L y 2.75 mg/L a 0.09 mg/L. Fósforo Total (PT) de 1 mg/L a 0.568 mg/L, de 1 mg/L a 0.23 mg/L y 0.302 mg/L a 0.092 mg/L. Aceites y Grasas (AyG) de 72.5 mg/L a 2 mg/L, de 4.3 mg/L a 2 mg/L y 19.8 mg/L a 2 mg/L. Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 3210 mg/L a 201 mg/L, de 1110 mg/L a 101 mg/L y 434 mg/L a 84 mg/L. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 1690 mg/L a 112 mg/L, de 572 mg/L a 48 mg/L y 230 mg/L a 40 mg/L respectivamente. Coliformes Totales (CT) de 7.0E+07 NMP/100mL a 2.6E+06 NMP/100mL, 1.1E+08 NMP/100 mL a 5.4E+05 NMP/100 mL y 4.7E+07 NMP/100 mL a 3.5E+04 NMP/100 mL. Se concluye que el vermifiltro con la especie *Eisenia Foetida* es eficiente para tratar aguas residuales de uso doméstico.

**Palabras clave:** aguas residuales de uso doméstico, eficiencia, tratamiento, vermifiltro.

## Introducción

Aproximadamente 842 000 individuos perecen como consecuencia de la falta de servicios básicos de saneamiento, que desencadena una serie de problemas ambientales, entre los que se destaca la contaminación del agua. Aproximadamente el 90% de las aguas residuales son descargadas a los cuerpos hídricos, con un deficiente tratamiento o incluso sin ninguno (Organización Mundial de la Salud, 2017).

Existen muchas enfermedades que se relacionan con el agua y que vienen generando morbilidad y mortalidad en cada país desarrollado y mucho más en países en vías de desarrollo. Cerca del 88% de las enfermedades gastrointestinales se atribuyen al suministro de agua insegura, saneamiento deficiente y poca higiene (Ferro, Ferro y Ferro, 2019).

El vertido de aguas residuales sin tratamiento puede generar enfermedades tales como gastroenteritis, cólera, tuberculosis, así como otras enfermedades de origen hídrico (Jordi, Francese, Ricard y Rodríguez, 2019).

En el Perú, más de la mitad de las aguas residuales de uso doméstico, no reciben tratamiento; al respecto los investigadores Centeno *et al.* (2019) aluden que, aunque los expertos indiquen que estas aguas no contienen elementos nocivos, se puede decir con total seguridad que por poseer elevadas concentraciones de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y materia orgánica pueden causar una serie de cambios en cuanto a los aspectos biológicos y fisicoquímicos del cuerpo hídrico receptor. Las aguas residuales de uso doméstico se caracterizan por poseer: materia orgánica, un pH cercano al neutro, sin olor cuando el agua es reciente, y posteriormente posee olor desagradable y colores oscuros amarillentos, al iniciar su estado de descomposición (López, 2019).

Existen alternativas a emplear, tratamientos que se pueden aplicar; destacamos entre los sistemas no convencionales de biotratamiento, el denominado vermifiltro, que es un filtro biológico aeróbico de flujo vertical, que surgió a raíz de la unión de dos procesos, la filtración común y la técnica de la lombricultura, es por ello por lo que un vermifiltro se encuentra basado en la aplicación de lombrices. Un vermifiltro además posee distintos medios filtrantes que hacen la vez de colador que retienen en la parte superior componentes del agua residual regada, las lombrices presentes en este medio se encargan de consumir y descomponer la materia orgánica y organismos patógenos, en un trabajo conjunto con numerosos microorganismos (Cáceres, Calisaya y Bedoya, 2019).

El vermifiltro es un tratamiento que remueve parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Además el vermifiltro posee muchas ventajas a comparación de otros tipos de tratamientos: no produce lodos residuales, por el contrario brinda como subproducto humus de lombriz, un excelente abono; es una biotecnología rentable y además se puede ejecutar en el mismo lugar de generación del efluente y puede ser aplicado en viviendas y hasta comunidades con poblaciones pequeñas (Pérez, 2018).

De acuerdo a todo lo antes mencionado se evaluó la eficiencia de un vermifiltro con la especie *Eisenia Foetida* para tratar aguas residuales de uso doméstico en una vivienda, a través del análisis de ensayo en laboratorio y la cuantificación de la remoción en los parámetros físicos (Temperatura y Sólidos Suspendidos Totales), químicos (pH, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Aceites y Grasas, Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno) y microbiológicos (Coliformes Totales), presentes en las aguas residuales de uso doméstico sin tratamiento y con tratamiento.

## Material y métodos

### Localización

La población estuvo constituida por la totalidad de las aguas residuales producidas por día, aproximadamente 217 Litros equivalentes a 0.217 m<sup>3</sup>/día, provenientes de una vivienda integrada por cinco personas; cuyas coordenadas se encuentran en: Este 537392.64 m E y Norte 8760638.13 m S, perteneciente al Distrito de Río Negro, de la Provincia de Satipo, Departamento de Junín.

El territorio donde se desarrolló la investigación se caracteriza por poseer temperaturas que pueden variar de 16 °C a 29 °C. Tiempo caluroso durante el día y un cielo nublado en las tardes. En cuanto a precipitación cabe mencionar que un día mojado puede caracterizarse por poseer 1 mm de precipitación como mínimo (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2020).

### Generalidades del muestreo

El presente trabajo de investigación se encamina en un diseño preexperimental del tipo preprueba/posprueba con un solo grupo, por lo cual se tomaron 2 muestras, 1 muestra del agua sin tratamiento y 1 muestra del agua residual con tratamiento como lo realizó Gallardo (2017). Este procedimiento se llevó a cabo en 3 diferentes fechas, cada una después de un periodo de 7 días como lo realizó Chávez (2017), Adugna *et al.* (2019) y Cáceres, Calisaya y Bedoya (2018).

Para el muestreo se empleó las especificaciones del Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. En cuanto a parámetros de calidad se emplearon los parámetros sujetos al monitoreo de los efluentes de las PTAR los indicados en el D.S. N° 003- 2010-MINAM: Temperatura, pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST) como lo hicieron Cáceres, Calisaya y Bedoya (2019), Aceites y Grasas, Demanda Bioquímica de oxígeno, Demanda Química de Oxígeno como lo menciona Pérez (2018), Fósforo Total, Nitrógeno Total y Coliformes Totales.

### Diseño y dimensionamiento del vermifiltro

El diseño del vermifiltro se basó en el postulado de Guzmán (2004) y Hernández (2005), citado en Saboya (2018), donde mencionaron que 1 m<sup>2</sup> de vermifiltro puede tratar 1000 L/d (1 m<sup>3</sup>), y que para tratar las aguas residuales de 5 personas se necesita solo 1 m<sup>2</sup> de vermifiltro. Además, cabe mencionar que existió un balance de masas donde se tuvo en cuenta: la cantidad de lombrices por unidad de área, cantidad de materia orgánica a consumir, la carga hidráulica (CH) para evitar muerte las lombrices, y el tiempo de retención hidráulica (TRH).

El vermifiltro que se elaboró tuvo la forma de un prisma rectangular, las dimensiones fueron de 1 m ancho, 1 m largo y 1.10 m de altura; Garzón y Moller (2011), citado en Figueroa (2018) indican que se pueden emplear alturas de 1 m a más para tratar aguas residuales a una escala real y obtener un mayor tiempo de retención.

### Granulometría de partículas de los materiales filtrantes

El vermifiltro estuvo dividido en dos zonas, una orgánica y otra inorgánica. La zona orgánica: fue la capa activa, donde habitaron las lombrices estuvo compuesto de cuatro materiales: tierra, compost semimaduro, humus de lombriz y fibra de coco; cada material de aproximadamente 0.5 cm. Los medios filtrantes que se emplearon en la zona inorgánica fueron los siguientes: piedras enteras de 3 cm, grava triturada 1 cm (Chicaiza, 2018), arena fina de 0.002 cm. (Adugna *et al.*, 2019).

En un vermifiltro se pueden usar recursos de desechos orgánicos, como lo menciona Adugna *et al.* (2019), por lo cual se empleó compost semimaduro y fibra de coco; este último posee ciertas características beneficiosas para el proceso, como capacidad de retener líquidos, brinda un

equilibrio deseado entre la retención del agua y a la vez una buena aireación; además de sus propiedades fungicidas (Mantuano y Pincay, 2017).

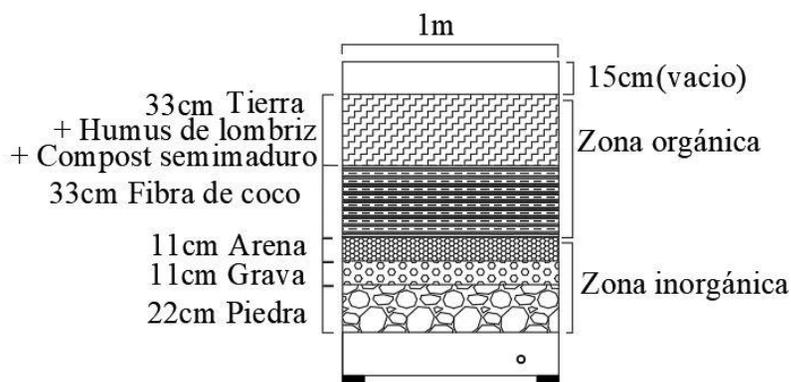
### Determinación de la altura de la zona orgánica y de la zona inorgánica

Se determinó una zona biológica con altura del 60% del total de vermifiltro, como lo señala Salazar (2005) citado en Saboya (2018), y como consecuencia la zona perteneciente a la inorgánica fue de 40%. A continuación, se presenta la ecuación con la que se calculó la altura de los estratos (zona biológica y zona inorgánica) (Saboya, 2018).

$$h_{estrato} = \frac{\% zona * h}{100\%} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde h: altura útil de vermifiltro, restando unos 15cm para altura de riego.

De esta forma se obtuvo una zona orgánica con altura de 66 cm, y una zona inorgánica con 44 cm; cada uno de los componentes fueron dispuestos de manera proporcional (Pérez, 2018). En total el vermifiltro tuvo una altura de 1.50 m y a continuación en la Figura 1, se muestran los medios filtrantes.



**Figura 1.** Diseño y dimensiones del vermifiltro.

### Determinación del número de lombrices

Se determinó en base a la relación de 10 kg de lombrices por 1m<sup>3</sup> de suelo (Komarowsky, 2021 citado en Manyuchi *et al.*, 2018); aproximadamente entre 15000-20000 lombrices indica Arora y Saraswat (2021). A continuación, se mostrarán las ecuaciones con las que se determinó el número de lombrices para el vermifiltro, en primer lugar se encontró el volumen, que fue v=0.66 m<sup>3</sup>; posteriormente se empleó otra ecuación, para determinar la cantidad de lombrices, que fue 6.6 Kg. lo que equivale a 6 600 lombrices, puesto que en 1 kg de lombrices adultas generalmente se encuentran 1000 lombrices.

$$v = a * b * h \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde: v: volumen de la capa activa; a: largo del vermifiltro; b: ancho del vermifiltro; h: alto del vermifiltro

$$KgLomb = \frac{v * 10Kg}{1m^3} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde: v: volumen de la capa activa

### Carga Hidráulica (CH)

Chicaiza (2018) indica que este factor es importante puesto que es la cantidad de agua residual distribuida sobre el área superficial del vermifiltro en un tiempo determinado. En primer lugar, se tuvo que encontrar el área superficial del vermifiltro, donde se tuvo como resultado 1 m<sup>2</sup>. Posteriormente se desarrolló una fórmula para encontrar la Carga Hidráulica, donde se tuvo como resultado 150 ml/m<sup>2</sup>.min de carga hidráulica equivalente a 0.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d.

$$CH = Q_{AR} / A \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde: CH: carga hidráulica; QAR: caudal del agua residual; A: área superficial del vermifiltro

### Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)

Este parámetro representó el tiempo en el que el agua residual atravesó los distintos medios filtrantes; es un factor muy importante ya que, si hay un mayor tiempo de retención, habrá mayor contacto y mayor estímulo para la actividad microbiana; entonces se tendrá mejores resultados (Samal y Roshan, 2021). Para encontrar el TRH, se empleó la siguiente fórmula que fue usada por Figueroa (2018), de donde se obtuvo un resultado de 5.7 días, resultado que se aproxima al recomendado por Cáceres, Calisaya y Bedoya (2019) en cuya investigación concluyen que una retención de 7 días es buena para obtener mayores reducciones de parámetros.

$$TRH = \frac{V_V}{Q} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde: TRH: tiempo de retención hidráulica; Vv: volumen total del vermifiltro; Q: caudal del agua residual

### Eficiencia de remoción del vermifiltro

La eficiencia de remoción se determinó en base a la siguiente fórmula, de manera independiente por muestra.

$$Ef = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde: Ci: concentración inicial; Cf: concentración final

### Adaptación de las lombrices

La adaptación de las lombrices tuvo una duración de 7 días como lo trabajó Chávez (2017) y Saboya (2018), se usó un balde grande con agujeros en el contorno y en la base, dentro del balde se colocó fibra de coco, sobre ella compost semimaduro + humus de lombriz, en este suelo se esparció homogéneamente 500 ml. de agua residual diariamente. Se controló el porcentaje de humedad, el pH y la temperatura con el Soil Survey Instrument y se pudo confirmar que el medio donde posteriormente habitarían las lombrices contaba con las condiciones óptimas para vivir y desarrollarse. Por lo tanto, se procedió a inocular las lombrices en el balde (Acuña y Reyes, 2017).

Se elaboró una ficha de campo, en la cual se registraron los monitoreos diarios, para controlar el porcentaje de humedad, pH, temperatura. Además, se tuvo un control de la población y peso de lombrices en el primer y séptimo día; el número inicial fue de 50 lombrices adultas con un peso inicial de 19.1g y su número final al cabo de los 7 días de adaptación fue de 50 lombrices más gran número de cocones; las lombrices tuvieron un peso final de 33 g. Los resultados mostraron porque nos encontrábamos con un medio óptimo.

### Funcionamiento del vermifiltro

El vermifiltro tuvo un periodo de calibración de 1 día con agua de caño (limpia), para hacer un lavado general a los materiales filtrantes, luego de este periodo se procedió a ser alimentado con aguas residuales grises, provenientes lavado de manos, lavado de platos y lavado de ropa, de una vivienda. El agua residual fue reunida a través de depósitos, que cada cierto tiempo fueron trasladados a un tanque principal, desde donde se condujo hacia una estructura rectangular que tenía perforaciones para facilitar la distribución homogénea del agua residual sobre la superficie; el agua se desplazó por gravedad. Dicha estructura de distribución estuvo ubicado a una altura de 0.15 m, en la parte superior de la capa activa del vermifiltro.

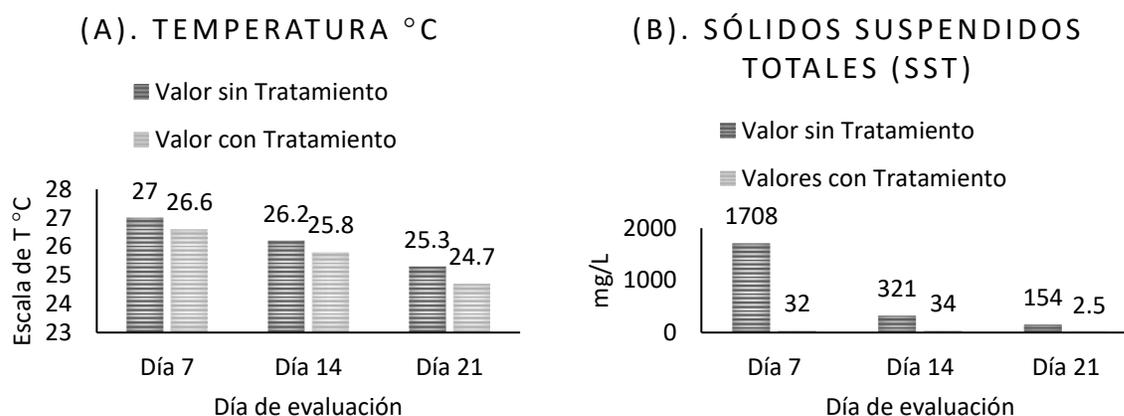
El flujo del agua residual fue de manera continua, directa y por la técnica de goteo; además se implementó en la estructura entradas de circulación de aire, recurso que fue aprovechado por los microorganismos aerobios para la oxidación respectiva como lo señala Huamaní y Pocasangre (2020).

## **Resultados y discusiones**

### Parámetros físicos

Existió un descenso en la Temperatura y los Sólidos Suspendedos Totales (SST), después del tratamiento y se observaron mayores reducciones a los 21 días. Ambos parámetros se encuentran debajo de los Límites Máximos Permisibles del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) obtuvieron un porcentaje de remoción promedio de 95.30%, este valor obtenido fue más alto que el reportado por Cáceres, Calisaya y Bedoya (2018), remoción de 66.67% y Vicente (2016), con 82.06% con medio filtrante de fibra de coco.



**Figura 2.** Temperatura (2A) Sólidos Suspendidos Totales (SST) (2B).

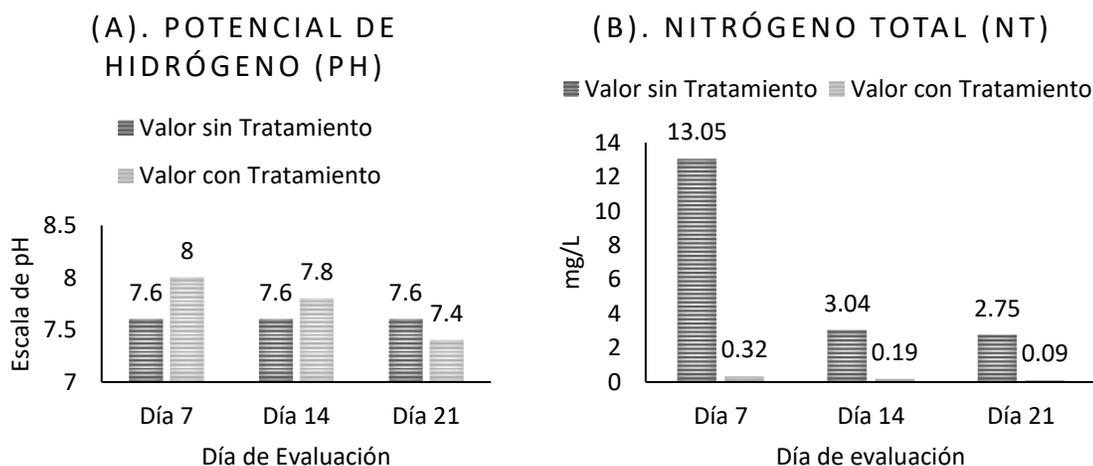
Al respecto de la Temperatura, existió una disminución de 0.4°C en la primera y segunda fecha, mientras que en la tercera fecha se tuvo 0.6 °C. Cáceres, Calisaya y Bedoya (2018), obtuvieron mejores resultados de reducción, 1.40 °C; asimismo mencionan que existen temperaturas ideales para el desarrollo microbiano que oscila entre 25°C y los 35 °C, por lo tanto podemos deducir que con la temperatura obtenida se produjo un buen desarrollo microbiano, lo cual fue propicio para un mejor tratamiento. Castillo y Chimbo (2021) mencionan que la temperatura ayuda a la actividad metabólica de los microorganismos y de las lombrices.

### Parámetros químicos

En cuanto a Potencial de Hidrógeno (pH) hubo un aumento en las dos primeras fechas con tratamiento, sin embargo, en la fecha 21 hubo un descenso. El pH se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Se obtuvieron reducciones en la tercera fecha de 7.6 a 7.4, mientras que en la primera y segunda hubo un ascenso de 7.6 a 8 y de 7.6 a 7.8 respectivamente. Sin embargo, en todas las fechas se cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, donde indica valores entre 6.5 y 8.5. Se presume que existieron tales reducciones a la tercera fecha, debido que para el día 21 habría aumentado el número de lombrices y microorganismo en el vermifiltro. De acuerdo con Rodale (1971), los residuos sólidos y líquidos son succionados por la boca de la lombriz, con la bomba succionadora

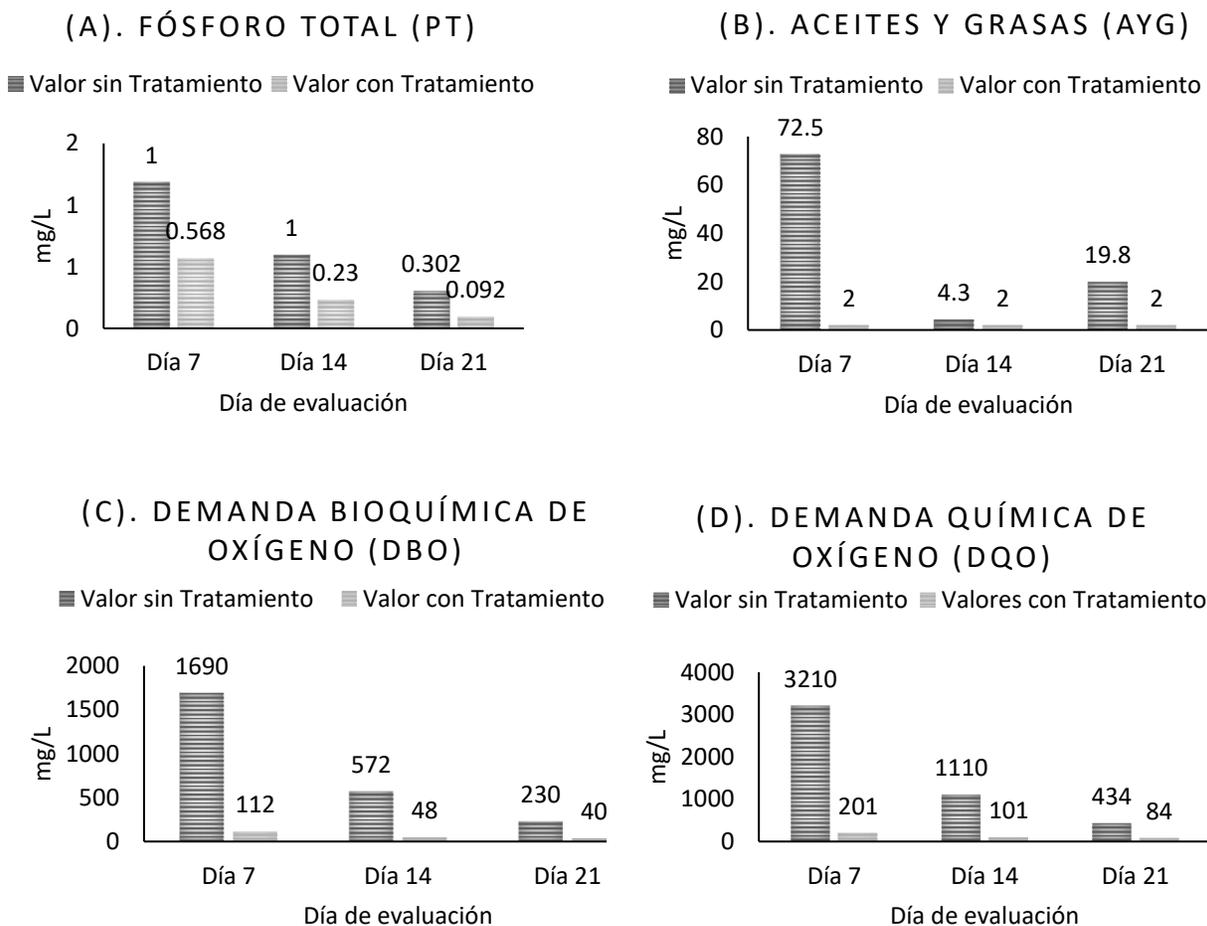
que se encuentra ubicada en la faringe. Desde el primer momento en que entra el alimento es suministrado con enzimas llamada amilasa. Además, en el esófago se encuentran las glándulas de Morren que secretan carbonato de calcio, lo que contribuye a neutralizar la acidez del alimento (Cardozo, Ramírez y Garzón, 2011). Castillo y Chimbo (2021) indican que cuando el pH se vuelve neutro es gracias a la capacidad de la *Eisenia Foetida* de aumentar la mineralización del compuesto orgánico a CO y otras sales mineralizadas.

Asimismo el Nitrógeno Total tuvo una disminución en las tres muestras con tratamiento, con un porcentaje promedio de remoción de 97.01%, superior al obtenido por Saboya (2018), de 78%, además citó a Wang *et al.*, (2011), que atribuye la reducción de este parámetro a la mineralización de nitrógeno amoniacal en forma de nitrato, debido al impacto que generan las lombrices sobre las comunidades bacterianas y también a que las lombrices secretan polisacáridos, proteínas y otros compuestos nitrogenados, que ayudan en la reducción del nitrógeno. Cabe señalar que la temperatura juega un papel muy importante en la eliminación de NT, así lo indicó Prasad, *et al.*, (2018), en su investigación donde trabajó humedal + *Eisenia Foetida* y concluyó que a mayor temperatura, existió menos NT.



**Figura 3.** Potencial de Hidrógeno (3A) Nitrógeno Total (3B).

En cuanto a Fósforo Total podemos observar una gran reducción, con el tratamiento; lo mismo ocurrió con Aceites y Grasas. Este último parámetro cumple con lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. La DBO y DQO también experimentaron una disminución considerable y solo en la primera fecha, que fue el día 7, estuvimos por encima de los LMPs. Sin embargo, en las demás fechas, a los 14 y 21 días, si llegaron a cumplir con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (Figura 4).



**Figura 4.** Fósforo Total (4A) Aceites y Grasas (4B) Demanda Química de Oxígeno (4C) Demanda Bioquímica de Oxígeno (4D).

En Fósforo Total se obtuvo una reducción de 63.25%, un valor superior, que el encontrado por Acuña y Reyes (2017), 55.15% con la especie *Eisenia Foetida*; y Chicaiza (2018), con 23%. De acuerdo a Morales y Bornhardt (2010) citado en Cardozo, Ramírez y Garzón (2011), la vermifiltración es un sistema biológico complejo, que combina mecanismos físicos, químicos, microbiológicos y macrobiológicos (consorcio microorganismos-lombrices), para remover carga orgánica y nutriente del agua residual. Además, fue eliminado por consumo de parte de las lombrices y microorganismos que lo usan para desarrollarse y multiplicarse.

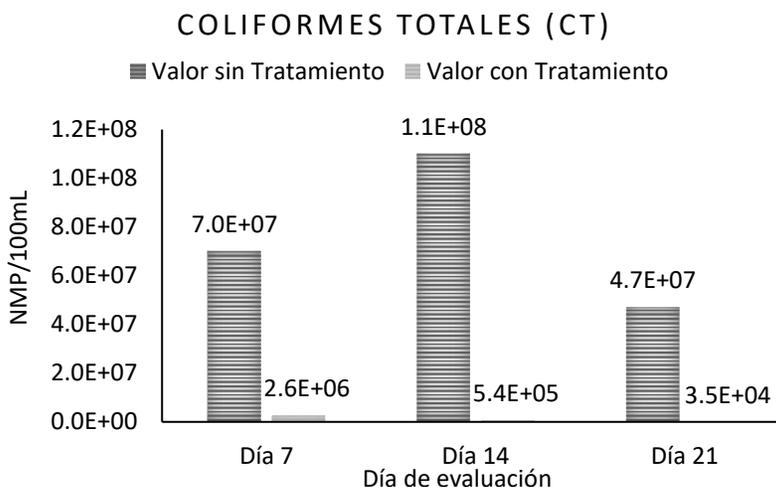
Asimismo, hubo una eficiente remoción de la DBO, se obtuvo una eficiencia promedio de 89.79%, resultados superiores a los obtenidos por Cáceres, Calisaya y Bedoya (2018) de 50.36%, asimismo se superó a Pérez (2018), que obtuvo 73.61%, que empleo un vermifiltro donde uso fibra de coco + aserrín; Vicente (2016), uso solo fibra de coco y obtuvo 88.50%. Sin embargo, Saboya (2018), indica una remoción mayor de 92%. Capistran, *et al.* (2001) citado en Cardozo, Ramírez y Garzón (2011), señalan que las lombrices secretan un moco gelatinoso que queda en las paredes lo que favorece el desarrollo de microorganismos que contribuirán a descomponer en mayor proporción los componentes del agua residual.

Para la DQO se obtuvo un promedio general de eficiencia de remoción de 89.76%, un valor mayor que el encontrado por Vicente (2016), con 70.15% que usó fibra de coco. Asimismo, Pérez (2018), obtuvo un porcentaje menor, con 79.53%, usando fibra de coco + aserrín y finalmente Saboya (2018), con un 86%. Sin embargo, Acuña y Reyes (2017) nos superaron con 97.28% de remoción.

En la DBO y DQO casi todos los efluentes pertenecientes a las tres fechas obtuvieron resultados por debajo de la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM para efluentes, a excepción de la primera fecha donde se excedió mínimamente por 12 mg/L y 1 mg/L respectivamente, lo que se atribuye a que el vermifiltro estuvo iniciando su primera semana de operatividad. Además, cabe mencionar que las lombrices en el tratamiento tienen dos funciones una como aireadores y mezcladores, y la otra como biodigestores. Sinha, *et al.* (2008), mencionan que los cuerpos de las lombrices trabajan como biofiltros que son capaces de remover la DBO5 en más de un 90%, la DQO entre 80-90% y los SST entre 90-95%, por medio de mecanismos de ingestión, biodegradación y absorción a través de las paredes de su cuerpo (Cardozo, Ramírez y Garzón, 2011).

#### Parámetro microbiológico

Pudimos obtener en las tres fechas señaladas, grandes reducciones de este parámetro evaluado, después de haber sido sometido al tratamiento. En cuanto a eficiencia de remoción de Coliformes Totales se encontró una remoción del 98.57%, que es superior a los resultados obtenidos por Acuña & Reyes (2017), cuyo resultado fue de 90.18%; asimismo se obtuvo un resultado superior a Saboya (2018), que obtuvo 84%. Sin embargo, Cáceres, Calisaya y Bedoya (2019), nos superaron con resultados de remoción del 100%; ellos mencionaron que tuvieron un TRH de 7 días y que además existió buena oxigenación, pues las lombrices forman galerías durante su recorrido, lo que facilita el ingreso de oxígeno, esto ayuda a eliminar microorganismos perjudiciales. Además, Camp, Dresser y Mckee (1980), indica que las bacterias patógenas al entrar al tracto digestivo de las lombrices se destruyen pues ellas son microfajas (Cardozo, Ramírez y Garzón, 2011). Lo antes mencionado se encuentra en la Figura 5.



**Figura 5.** Parámetro Coliformes Totales.

#### Eficiencia de remoción del vermifiltro

Los resultados muestran mayor eficiencia de remoción para los parámetros Coliformes Totales, NT y SST, pues se encuentran por encima de los 90% de eficiencia de remoción (Tabla 1).

Con la presente investigación recomendamos el uso de fibra de coco como medio filtrante orgánico y como una mejor opción que el aserrín o viruta; obtuvimos un porcentaje de remoción de 68.44% con este producto. Vicente (2016), lo confirma en su estudio, donde comparó dos medios filtrantes orgánicos por separado, la fibra de coco y el aserrín. Concluyó que el empaque de fibra de coco obtuvo una eficiencia del 82.37%, a diferencia del empaque con aserrín que fue menos.

El vermifiltro va mejorando su rendimiento a medida que pasan los días, además el vermifiltro con la especie *Eisenia Foetida*, mejora su trabajo de reducción de parámetros, con un periodo de calibración de 1 día, y desde los primeros 7 días de entrar en funcionamiento se obtienen buenos resultados; los resultados obtenidos se asemejan a los de Cáceres, Calisaya y Bedoya (2018), donde obtuvieron reducciones en sus parámetros, después de una semana de tratamiento. Sin embargo, Gallardo (2017), obtuvo reducciones en un tiempo mucho mayor, con una calibración de vermifiltro por un período de 20 a 25 días, y a partir de ese período menciona que los parámetros recién empiezan a disminuir, cada 10 días.

**Tabla 1.** Porcentaje (%) de eficiencia de remoción

Parámetros	Fecha por días	Eficiencia de Remoción (%) por muestreo	Eficiencia de Remoción (%) Promedio
SST	7	98.13	95.30
	14	89.40	
	21	98.38	
Nitrógeno Total	7	97.55	97.01
	14	93.75	
	21	99.73	
Fósforo Total	7	43.2	63.25
	14	77	
	21	69.54	
Aceites y Grasas	7	97.24	80.21
	14	53.49	
	21	89.89	
DQO	7	93.74	89.76
	14	90.90	
	21	84.65	
DBO	7	93.37	89.20
	14	91.61	
	21	82.61	
Coliformes Totales	7	96.28	98.57
	14	99.51	
	21	99.93	

### Conclusiones

El vermifiltro presentado es un modelo a escala real, con una forma sencilla de construir y bases sólidas para sustentar su elaboración.

La altura fue muy importante e indispensable en la remoción de los parámetros del agua residual; cabe mencionar que en el diseño se consideró tubos de aireación adheridos en la estructura. La zona biológica (Tierra + Humus de lombriz + Compost semimaduro + Fibra de coco) es la que ocupó gran parte del biofiltro, con una altura de 0.66 m equivalente al 60%.

Los resultados del análisis de ensayo de laboratorio mostraron grandes reducciones de los parámetros en evaluación en el agua residual de uso doméstico con tratamiento. Por lo tanto, es muy importante señalar que el vermifiltro con la especie *Eisenia Foetida* es eficiente para remover parámetros físicos (Temperatura y Sólidos Suspendidos Totales), químicos (pH, Nitrógeno Total,

Fósforo Total, Aceites y Grasas, Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno) y microbiológicos (Coliformes Totales), puesto que existió diferencia entre los valores de los parámetros del agua residual de uso doméstico sin tratamiento y los valores de los parámetros del agua residual de uso doméstico con tratamiento, en las tres diferentes fechas.

### Referencias bibliográficas

- Acuña, J., Reyes, J. (2017) *Eficiencia de lumbricus terrestris y Eisenia Foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas, 2015* (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTR\\_137370a0cb638bb0e0e2a1546311a93c](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTR_137370a0cb638bb0e0e2a1546311a93c))
- Aduña, A., Andrianisa, H., Konate, Y., Maiga, A. (2019) Fate of filter materials and microbial communities during vermifiltration process. *Journal of Environmental Management*, **242**(2019), 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.076>
- Arora, S. , Saraswat, S. (2021) Vermifiltration as a natural, sustainable and green technology for environmental remediation: A new paradigm for wastewater treatment process. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, **4**(2021), 100061. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100061>
- Cáceres, D., Calisaya, G., Bedoya, E. (2018) Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista de Ciencia y tecnología para el Desarrollo-UJCM 2018*, **4**(Número Especial):13-23. <http://dx.doi.org/10.37260/rctd.v4i0.115.g99>, <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115/99>
- Cáceres, D., Calisaya, G., Bedoya, E. (2019) Eficiencia de *Eisenia Foetida*, *Eichornia Crassipes* e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú. *Ecología Aplicada*, **20**(1), 2021. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i1.1692>
- Cardoso, L., Ramírez, E., Garzón M., Bahena, E., Morales, E., Cervantes, F. , Enriquez, J., (2011) Vermifiltración para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales Proyecto TC-1107. Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Enfoque UTE*, **12**(2), 80-99, 2021. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Castillo, J. , Chimbo, J. (2021) Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia Foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales.
- Centeno, L., Quintana, A., López, F. (2019) Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldoa*, **26**(1), 433–446. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26123>
- Chávez, J. (2017) *Eficiencia de un Biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente en la ciudad de Celendin* (Tesis para obtener título profesional) Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Chicaiza, C. (2018) *Estudio de la influencia de la tasa hidráulica en la bidegradación de aguas residuales domésticas tratadas por sistema no convencionales de vermifiltración* (Tesis para obtener título profesional de Ingeniero Ambiental) Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Ferro, F., Ferro P., Ferro A. (2019) Distribución temporal de las enfermedades diarreicas agudas, su relación con la temperatura y cloro residual del agua potable en la ciudad de Puno, Perú. *Journal of High Andean Research*, 2019; **21**(1): 69-80 Vol 21 Nº 1. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.446>
- Figueroa, J. (2018) *“Biofiltros con Furcraea andina y Eucalyptus globulus para mejorar la calidad del efluente de la piscigranja de Acopalca - Ancash - 2018”*(Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Ambiental) Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad César Vallejo, Lima.
- Flores, E., Miranda, M. , Villasís, M. (2017) El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadísticas adecuada. Estadística inferencial. *Revista Alergia Mexico*, **64**(3), 364–370. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>

- Gallardo, L. (2017) *Análisis de la Fibra de Coco como filtro en el tratamiento de Aguas Residuales provenientes del centro de faenamiento Latacunga* (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil) Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Huamaní, Z. , Pocasangre, A. (2020) Estudio de coeficientes cinéticos de filtros percoladores por etapas, con medio filtrante de piedra volcánica. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, **15**(1,2020) Recuperado de: <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1133>
- Jordi, S., Francese, T., Ricard, J. , Rodríguez, M. (2019) Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y emisor submarino La Chira (Perú), *1era ed.*, IESE Business School , España.
- López, W. (2019) *Evaluación de dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes de aguas residuales de la PTAR taboada del callao, Perú* (Tesis para título profesional de Ingeniero Ambiental) Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, Universidad Nacional Federico Villareal, Lima.
- Mantuano, V. , Pincay, E. (2017) Proceso de obtención de fibra de coco para fabricar colchones ecológicos hipoalérgicos en la comuna "Sacachún", *Revista Empresarial, ICE-FEE-UCS*, ed. **44**(11) – No. 4 - 14-19. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es- ProcesoDeObtencionDeFibraDeCocoParaFabricarColchon-6479351.pdf>
- Manyuchi, M., Mbohwa, C. , Muzenda, E. (2018) Biological treatment of distillery wastewater by application of the vermifiltration technology. *South African Journal of Chemical Engineering*, **25**(2018), 74–78. <https://doi.org/10.1016/j.saice.2017.12.002>
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2017) *¿Cuál Es El Panorama General?*,OMS. [https://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/PHE-prevention-diseases-infographic-ES.pdf?ua=1](https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/PHE-prevention-diseases-infographic-ES.pdf?ua=1)
- Pérez, S. (2018) *Aplicación de vermifiltros para reducir el DQO y DBO del agua residual del un Laboratorio de Análisis Químico, 2018* (Tesis para obtener el título profesional Ingeniera Ambiental) Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad César Vallejo, Lima.
- Prasad, R., Fu, D., Jia, J. , Wu, j. (2018) Performance of Earthworm-Enhanced Horizontal Sub-Surface Flow Filter and Constructed Wetland. *Water*, 2018, **10**(10), 1309. <https://doi.org/10.3390/w10101309>
- Saboya, X. (2018) Eficiencia del metodo de lombrifiltro en remoción de los contaminantes de las aguas residuales domesticas en el Distrito de Chachpoyas - Amazonas. *Muro de la Investigación*, 2021(1), enero-junio. <https://doi.org/10.17162/rmi.v6i1.1439>
- Samal, K. , Roshan, R. (2021) Modelling of pollutants removal in Integrated Vermifilter ( IVmF ) using response surface methodology. *Cleaner Engineering and Technology*, **2**(2021), 100060. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100060>
- SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2020) *Información Turística*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0026>
- Vicente, J. (2016) Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque UTE*, **7**(3) 41–56. Recuperado de: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/104/110>