



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“VERMIFILTRACIÓN CON LOMBRIZ ROJA (*Eisenia foetida*) PARA
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”

Trabajo de Investigación para optar el Grado de Bachiller en:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Gianella Melanie Román Sánchez (0000-0002-5355-0060)

Asesor:

Betty Soledad Peña Orocaja (0000-0002-2766-5542)

Lima – Perú

2020



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°188-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTÍFICA.

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 22 de octubre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Vermifiltración con lombriz roja (Eisenia foetida) para el tratamiento de aguas residuales**, presentado por:

- Gianella Melanie Román Sánchez

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Vermifiltración con lombriz roja (Eisenia foetida) para el tratamiento de aguas residuales** con N° de registro de la carrera: **085-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Betty Soledad Peña Orocaja** como asesora de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese.


Documento firmado digitalmente
Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

Vermifiltración con lombriz roja (*Eisenia foetida*) para el tratamiento de aguas residuales

Gianella Melanie Román Sánchez¹; Betty Soledad Peña Orocaja²

¹ Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Ambientales, Panamericana Sur Km 19,

Villa el Salvador.

gianellars1999@gmail.com

RESUMEN

La vermifiltración utilizando lombrices *Eisenia foetida* surge de la búsqueda para desarrollar nuevas tecnologías sostenibles con el medio ambiente y económicas para el tratamiento de aguas residuales. Esta tecnología comprende un sistema con medios filtrantes orgánicos, en la cual se encuentran las lombrices y microorganismos degradadores, así como 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. Asimismo, 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.

Palabras clave: vermifiltración, *Eisenia foetida*, aguas residuales, tratamiento, contaminantes, lombrices, vermifiltro, humus.

ABSTRACT

Vermifiltration using *Eisenia foetida* worms arises from the search to develop new environmentally sustainable and economical technologies for the treatment of wastewater. This technology comprises a system with organic filtering media, in which earthworms and degrading microorganisms are found, as well as inorganic filtering media, through which the wastewater percolates. In the organic filtering medium, the worms *Eisenia foetida* degrade the organic matter in the wastewater and as a result humus is obtained, which can be used as natural fertilizer in agriculture. Likewise, vermifilters represent an efficient technology for the treatment of domestic and agro-industrial wastewater, since several experimental studies have demonstrated the potential of *Eisenia foetida* worms for the elimination of BOD, Total Suspended Solids, COD and pathogenic microorganisms present in wastewater, which after being treated can be reused for irrigation in agricultural areas and/or discharged into natural water bodies in compliance with current environmental regulations.

Key words: Vermifiltration, *Eisenia foetida*, wastewater, treatment, pollutants, worms, vermifilter, humus.

REVISIÓN TEÓRICA

En la actualidad, el incremento de la población genera grandes volúmenes de aguas residuales, las cuales al no ser tratadas adecuadamente producen efectos a la salud pública y contaminación ambiental como consecuencia del vertimiento inadecuado de estas a diferentes cuerpos de agua. A nivel nacional las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) solo tratan el 70% de las aguas residuales, mientras que el 30% de la población que no recibe el servicio de tratamiento son principalmente las comunidades rurales y las pequeñas industrias, las cuales no cuentan con Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) (Gómez, 2014).

La problemática con respecto a las aguas residuales comprende la contaminación debido a la falta de tratamiento y las consecuencias que genera para la salud de las personas, además la falta de gestión y supervisión de las PTAR ocasiona que no funcionen en un nivel óptimo (Larios-Meño, González, & Morales, 2015). Asimismo, los tratamientos convencionales de aguas residuales utilizados en el país presentan ciertas limitaciones con respecto a los costos de mantenimiento y operación, requerimiento de personal capacitado en las tecnologías y la limitada aplicación del servicio.

Es por ello que existe un creciente interés en desarrollar nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales a pequeña escala, específicamente para atender las necesidades básicas de saneamiento de pequeñas localidades y hogares individuales que, además sean económicamente viables y sostenibles (Lourenço & Nunes, 2017). Por lo tanto, el objetivo de esta revisión teórica es realizar una descripción del proceso de tratamiento de vermifiltración con *Eisenia foetida*, así como de sus características, ventajas y eficiencia como una alternativa para tratar aguas residuales en zonas rurales pequeñas.

1. Definición de vermifiltración

Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga (2014), definen vermifiltración como un sistema de tratamiento de aguas residuales, conformado por capas filtrantes orgánicas e inorgánicas, microorganismos y lombrices de tierra. Estas capas consisten en medios filtrantes por donde percola el agua residual que contiene materia orgánica, la cual es la fuente de alimento de las lombrices *Eisenia foetida* que se encuentran en la superficie del vermifiltro (Capa orgánica) y que por sus características estructurales y físicas se encargan de degradarla y transformarla, por lo cual este sistema tiene una eficiente remoción de materia orgánica (Sinha, Bharambe, & Chaudhari, 2008).

2. Características del vermifiltro

La vermifiltración no produce lodos inestables en comparación de otras tecnologías ya que los sólidos orgánicos que se obtienen del tratamiento del agua residual se degradan en su totalidad, y en lugar de obtener lodos, por acción de las lombrices de tierra se obtiene humus (Arora, Kumar, & Rajpal, 2013).

Asimismo, la acción que realizan las lombrices *Eisenia foetida* permite mantener estable la permeabilidad de los materiales filtrantes del vermifiltro ya que las lombrices se alimentan del material orgánico que queda retenido en las capas filtrantes y lo integran a este en forma de humus (Li et al., 2008).

3. Descripción de las capas del vermifiltro

Según Cardoso-Vigueros et al. (2014) un 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.

4. Procesos de remoción del vermifiltro

4.1. Procesos físicos

Dentro del vermifiltro se lleva a cabo un proceso de eliminación de la materia orgánica presente en el agua residual (M. Manyuchi & Phiri, 2013). Este proceso inicia a partir del vertimiento del agua residual en la parte superficial del vermifiltro, ya que la depuración del agua residual se realiza en la parte superior donde se encuentra la mayor cantidad de lombrices *Eisenia foetida* (T. Kumar, Bhargava, Prasad, & Pruthi, 2015). Para que las lombrices realicen un eficiente trabajo degradando los contaminantes del agua residual es necesario que el medio de vida donde se encuentran esté en condiciones adecuadas, es decir no estar expuestas a valores extremos o bajos de temperatura, pH y humedad (De la Mora et al., 2014).

Según Acosta (2017), durante la vermifiltración se remueve grandes cantidades de materiales sólidos, debido a que al ingresar el agua residual por la superficie del vermifiltro estos quedan retenidos en las capas. Asimismo, las capas filtrantes se mantienen aireadas y con alta permeabilidad debido a los movimientos migratorios que realizan las lombrices (Saboya, 2018).

Durante el proceso de depuración del agua residual las lombrices *Eisenia foetida* consumen los sólidos suspendidos que se encuentran en esta, transformando los sólidos en anhídrido carbónico y agua a través de un proceso de oxidación, mientras que el resto de sólidos se convierte en constituyente de la masa corporal de las lombrices, así como desechos que eliminan las lombrices y que posteriormente se transforman en humus (Singh, Samal, Dash, & Bhunia, 2019).

4.2. Procesos Químicos

Para la eliminación del nitrógeno del agua residual mediante vermifiltración se llevan a cabo mediante dos etapas: nitrificación y desnitrificación, La primera etapa de nitrificación consiste en la conversión del amonio a nitrito y este último a nitrato mediante la acción de bacterias nitrificadoras, las cuales obtienen energía para su crecimiento del carbono inorgánico presente en el medio, mientras que durante la segunda etapa de desnitrificación, el nitrato es convertido a nitrógeno, el cual es liberado a la atmósfera (Saboya, 2018). Asimismo, durante este proceso las capas filtrantes desempeñan un rol importante ya que la eliminación del nitrógeno se realiza en condiciones aerobias y mediante la acción de bacterias autótrofas quimiosintetizadoras, este tipo de bacterias se encuentran formando una biopelícula en los medios filtrante del vermifiltro (Dhadse, Satyanarayan, Chaudhari, & Wate, 2010).

Según Saboya (2018), durante el proceso de nitrificación la cantidad de materia orgánica debe ser baja ya que las lombrices *Eisenia foetida* influyen el proceso de desnitrificación a través del consumo de materia orgánica contenida en el agua residual, así como también influye indirectamente en la producción del derivado de cal, lo cual sirve para lograr reducir el nitrógeno amoniacal del agua residual, puesto que proporciona oxígeno al agua, y como consecuencia la labor de las bacterias reductoras de nitrógeno se facilita durante el tratamiento.

La alcalinidad resulta ser un parámetro fundamental para tratar aguas residuales mediante vermifiltración debido a que este debe estar en adecuadas condiciones para que se realice el proceso de desnitrificación, debido a que favorece la producción de biomasa de bacterias nitrificantes. Asimismo, menciona que dentro de los materiales filtrantes inorgánicos que conforman el vermifiltro destaca el uso de aserrín ya que este material resulta útil en la disminución del nitrógeno del agua residual debido a su capacidad bioadsorbente (T. Kumar et al., 2015).

4.3. Procesos biológicos

Durante el proceso de vermifiltración, los microorganismos presentes en el agua residual son degradados debido a la generación de sustancia por las lombrices *Eisenia foetida* relacionados con los microorganismos que consumen materia orgánica, los cuales conviven con las lombrices (C. Kumar & Ghosh, 2019).

Con respecto a la reducción de microorganismos patógenos, esto se debe a acciones enzimáticas que se llevan a cabo en el sistema intestinal de las lombrices *Eisenia foetida*, secreción de fluidos del celoma de las lombrices, las cuales tienen propiedades antibacterianas que eliminan los patógenos del agua residual (Saboya, 2018).

Dentro del vermifiltro se encuentra una comunidad biológica conformada por bacterias aerobias y facultativas, las cuales se adhieren al medio creando una biopelícula, las bacterias facultativas son las más predominantes debido a que son las más efectivas para la degradación del agua residual (Acosta, 2017).

5. Ventajas

El proceso de vermifiltración no genera lodos a diferencia de otras tecnologías para tratar aguas residuales, debido a que este proceso degrada sólidos orgánicos de efluentes de cualquier origen de agua residual (Dhadse et al., 2010).

No es necesario algún tipo de pretratamiento para la eliminación de sólidos orgánicos, sin embargo, para conseguir una mayor eficiencia en la depuración de agua residuales solo es necesario aplicar un pretratamiento como cámara de rejillas con el fin de retener sólidos inorgánicos de gran tamaño (M. M. Manyuchi, Mbohwa, & Muzenda, 2018).

La vermifiltración no genera malos olores ya que el tipo de proceso que realiza es aerobio, y además las lombrices *Eisenia foetida* no generan proliferación (Rajiv K. Sinha et al., 2008).

El lecho filtrante donde se encuentran las lombrices *Eisenia foetida* tiene una alta permeabilidad debido al movimiento que realizan las lombrices, las cuales digieren todos los materiales sólidos orgánicos del agua residual que ingresan al vermifiltro (Salazar, 2005).

La vermifiltración es una tecnología sostenible ya que no se utilizan aditivos ni sustancias químicas durante el proceso, además no generan residuos contaminantes y consumen muy poca energía (R.K. Sinha, Bharambe, & Bapat, 2006).

Una de las principales ventajas frente a otras tecnologías es la obtención de un subproducto como lo es el humus de lombriz, el cual es utilizado como abono natural, además es generado en grandes cantidades, por ello para evitar su acumulación es recomendable extraerlo del sistema y darle un uso adecuado como abono en el suelo (Durán & Henríquez, 2009).

La operación del sistema de vermifiltración requiere de bajos costos y tiene un mantenimiento más sencillo comparado con otras tecnologías convencionales, las cuales resultan ser más complejas y costosas (Arora et al., 2013).

6. Desventajas

La vermifiltración requiere de una mayor superficie a diferencia de otras tecnologías, debido a que este sistema funciona gracias a la acción de las lombrices *Eisenia foetida*, y estas necesitan de espacio suficiente para que lleven a cabo la eliminación de la materia orgánica del agua residual (Singh et al., 2019).

Al igual que otros métodos de tratamiento de aguas residuales, la vermifiltración es sensible a constantes variaciones de carga orgánica ya que las lombrices *Eisenia foetida* se alimentan de materia orgánica que sea equivalente a su peso (Durán & Henríquez, 2009). Según Saboya (2018) la principal desventaja de la vermifiltración es la variación del clima puesto que debido a este factor pueden alterarse las condiciones ideales del medio de vida de las lombrices y como consecuencia afectan su crecimiento.

7. Características de los parámetros para el diseño del vermifiltro

Los principales parámetros que deben estar aptos para un eficiente tratamiento de aguas residuales mediante vermifiltración son pH, humedad y temperatura (M. Manyuchi, Kadzungura, & Boka, 2013).

Según M. Manyuchi & Phiri (2013), la temperatura adecuada en un sistema de vermifiltración debe estar entre 15°C y 24°C y debe evitarse exponer a las lombrices *Eisenia foetida* a variaciones extremas de temperatura, ya que sería letal para la especie.

Según T. Kumar et al. (2015), el pH para un sistema de vermifiltración debe ser entre 6.5 y 7.5, es decir neutro, debido a que variaciones extremas del pH podrían acabar con la vida de las lombrices *Eisenia foetida*.

Asimismo, Dhadse et al. (2010) menciona que el rango de humedad que debe mantener un vermifiltro debe estar entre 70% y 80%, ya que si las lombrices *Eisenia foetida* se encuentran en un medio con una humedad mayor a 80% entrarían a un periodo de latencia y causaría su muerte.

8. Operación y mantenimiento

Según Singh, Bhunia, & Dash (2017), para conseguir un correcto funcionamiento del vermifiltro se debe realizar constantes movimientos de la mezcla del lecho filtrante de las lombrices *Eisenia foetida* en la superficie del filtro, con el fin de evitar que el agua residual se empoce y también para mejorar la permeabilidad del medio. Asimismo, depende del volumen de agua residual a tratar, es recomendable realizar la mezcla al menos una vez por semana (Saboya, 2018).

De la misma forma, se debe evitar que el agua residual se acumule y que el alimento de las lombrices *Eisenia foetida* se encuentren saturado, ya que de lo contrario las lombrices no degradarían adecuadamente la materia orgánica contenida en el agua residual y también puede causar que el sistema pierda homogeneidad (Acosta, 2017).

Según Saboya (2018) un vermifiltro que permanece en constante saturación se consigue a través de descarga de aguas residuales mediante tasas controladas.

Para lograr que el sistema de vermifiltración funcione correctamente es necesario quitar todas las malezas presentes en el lecho de las lombrices *Eisenia foetida*, así como limpiar periódicamente los aspersores con el fin de que se logre uniformizar la superficie del vermifiltro (Saboya, 2018).

9. Eficiencia de la vermifiltración

Se han realizado numerosas investigaciones a nivel internacional sobre la eficiencia del tratamiento de aguas residuales mediante vermifiltración y los resultados muestran que esta tecnología logra un buen resultado en la remoción de contaminantes del agua residual, incluso algunas investigaciones sustentan que los resultados son mejores a los de un tratamiento convencional. A continuación, se presentará los principales artículos de investigación sobre la eficiencia de la vermifiltración con *Eisenia foetida*:

Meiyan et al (2010) llevaron a cabo la construcción y análisis de la eficiencia de un vermifiltro a escala piloto para tratar aguas residuales domésticas en la ciudad de Shanghái, China, y se obtuvieron los siguientes resultados de eficiencia (Ver Tabla N°1).

Tabla N°1. Porcentaje remoción de parámetros del efluente de agua residual

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 Suspendedos Totales	57.18 – 77.90 %
Nitrógeno Total	7.63 – 14.90 %

Fuente: Meiyan et al (2010)

De la misma forma, Telang & Patel (2015) realizó una investigación sobre la vermifiltración de aguas residuales domésticas de una comunidad local y obtuvo resultados efectivos en la remoción de los principales parámetros que caracterizan al agua residual. A continuación, se muestran los resultados y comparación del afluente de agua residual y el efluente del vermifiltro (Ver Tabla N°2).

Tabla N°2. Reducción de parámetros del agua residual

Parámetro	Afluente	Efluente
pH	8	8.04
Solidos Totales	1434 mg/L	200 mg/L
Solidos Suspendidos Totales	900 mg/L	82 mg/L
DBO	2200 mg/L	40 mg/L
DQO	3700 mg/L	214 mg/L
Aceites y Grasas	80 mg/L	7 mg/L

Fuente: Telang & Patel (2015)

Según Choudhary & Medok (2017), la remoción de contaminantes del agua residual doméstica mediante un sistema de vermifiltración es eficiente ya que se evidenció un buen desempeño del vermifiltro instalado para depurar el agua residual de una comunidad, en el cual se obtuvo los siguientes resultados que comprueban la efectividad del sistema (Ver Tabla N°3).

Tabla N°3. Reducción de contaminantes del afluente y efluente de agua residual

Parámetro	Afluente	Efluente
pH	7.7	7.2
Temperatura	29.3°C	29.1°C
Conductividad Eléctrica	2720.8 μ s/cm	2354.5 μ s/cm
Sólidos Totales Disueltos	1382.5 mg/L	1190.9 mg/L
Oxígeno Disuelto	1.14 mg/L	2.34 mg/L
DBO	237 mg/L	31 mg/L
Nitrato	17.8 mg/L	12.3 mg/L

Fuente: Choudhary & Medok (2017)

10. Aplicaciones de la vermifiltración

Según Sosa, Viguera, & Holguín (2014), el proceso de vermifiltración ha sido aplicado en los últimos años para tratar aguas residuales de industrias alimentarias, textiles y manufactureras, debido a su eficiencia en la remoción de DBO, Sólidos Suspendidos Totales y Nitrógeno Total. Asimismo, esta tecnología es usada principalmente para el tratamiento de aguas residuales domésticas en comunidades rurales ya que se obtiene una excelente remoción de coliformes fecales del agua residual, aproximadamente 99.56% (Salazar, 2005).

11. Lombriz de tierra *Eisenia foetida*

11.1. Descripción

Según Durán & Henríquez (2009) el nombre científico de la lombriz roja californiana es *Eisenia foetida*, se le denomina californiana debido a que fue en California donde se comenzó a estudiar a gran profundidad los efectos beneficiosos que esta tiene sobre la capa orgánica del suelo, así como la obtención del humus. Esta especie es utilizada con el objetivo de mejorar los suelos (Arora et al., 2013).

La lombriz de tierra *Eisenia foetida* es un animal invertebrado con un cuerpo largo cilíndrico segmentado, el cual está formado entre 94 a 96 anillos, los cuales cumplen funciones específicas y cuyas contracciones permite el movimiento de la lombriz (Paco, Loza-Murguía, Mamani, & Sainz, 2011).

La característica principal de las lombrices *Eisenia foetida* es el color rojo intenso que presenta, mide entre 6 - 8 cm de largo y posee un diámetro entre 3 – 5 mm, ocasionalmente pueden llegar a medir hasta 10 cm (Saboya, 2018).

Durante su etapa adulta pesan entre 1 – 1.4 g, ya que comen cantidades de materia orgánica equivalentes a su peso y excreta alrededor del 60% de su alimento diario, el cual posteriormente se convierte en humus (Durán & Henríquez, 2009).

Las lombrices *Eisenia foetida* tienen una tasa de vida de 90 a 100 días y habita en los 50 cm de la superficie del suelo ya que prefieren estar en contacto con la superficie del suelo (Acosta, 2017).

11.2. Ciclo de vida

Las lombrices *Eisenia foetida* son hermafroditas, es decir presentan órganos sexuales femeninos y masculinos, sin embargo, no tienen la capacidad de autofecundarse, por lo que se reproducen por fecundación cruzada (Durán & Henríquez, 2009). Durante la etapa de reproducción, se realiza un intercambio de espermatozoides, los cuales no fecundan a los óvulos al instante, ya que en cambio se sigue un proceso característico (Paco et al., 2011). Según Saboya (2018), las lombrices *Eisenia foetida* se reproducen una vez por semana, de la cual se obtiene 2 capsulas llamadas capullos o cocones, los cuales tienen forma de pera, estos capullos eclosionan a una temperatura adecuada entre 20°C - 25°C y al cabo de 23 días, una vez pasado el tiempo de eclosión, de cada uno de los capullos nacen entre 2 a 4 lombrices.

Según Durán & Henríquez (2009), las lombrices *Eisenia foetida* recién nacidas tienen un color palo rosa transparente, mientras que en su etapa juvenil presentan un color más claro que en su etapa adulta. A partir de los 50 días de haber nacido ya se puede considerar adulta a una lombriz *Eisenia foetida* y se puede apreciar notoriamente un color rojizo, además de encontrarse en perfectas condiciones de reproducción (Saboya, 2018).

11.3. Hábitat

El hábitat de la lombriz de tierra *Eisenia foetida* es en la tierra húmeda, sin embargo, también habitan en el barro que se encuentra a las orillas de pantanos o lagos (Paco et al., 2011). Asimismo, pueden encontrarse en los suelos de los patios y cerca de cuerpos de agua salada y dulce (Saboya, 2018). La mayoría de individuos de esta especie viven en la capa superior del suelo, mientras que la minoría en la profundidad (Salazar, 2005).

11.4. Condiciones de vida

Las condiciones de vida ideales del hábitat de la lombriz *Eisenia foetida* corresponde a una temperatura que se encuentre entre los 15°C y 24°C, siendo la más óptima 20°C; un pH entre 6.5 y 7.5; humedad entre 70% y 80% para favorecer su reproducción (Durán & Henríquez, 2009). De todas formas, la lombriz *Eisenia foetida* tiene la capacidad de adaptarse para optimizar el aprovechamiento del medio en condiciones ambientales desfavorables, sin embargo, a pesar de su elevada resistencia se debe tener cuidados especiales con factores que puedan llegar a afectar su funcionamiento (Saboya, 2018).

Es importante mencionar que las lombrices de tierra *Eisenia foetida* no presentan ningún órgano de defensa por lo tanto están expuestas a cualquier animal que pueda dañarlas o matarlas involuntariamente, ya que es común en las cadenas tróficas, dentro de los principales depredadores de lombrices de tierra se encuentran las serpientes, pájaros, ratas y sapos (Salazar, 2005).

11.5. Humus

El humus es producto de las excretas de las lombrices *Eisenia foetida*, las cuales excretan alrededor del 60% del alimento que consumen (Durán & Henríquez, 2009). Según Acosta (2017), el humus es abono orgánico, el cual posee 100% de flora bacteriana, es decir alrededor de 2 billones de colonias bacterianas vivas por cada gramo de humus. Se caracteriza por tener un aspecto suave y granulado, con alto contenido de nitrógeno, calcio, fósforo, magnesio, potasio y otros micro elementos en mayores cantidades a las que posee un terreno fértil (Paco et al., 2011).

Asimismo, posee un alto valor nutricional para el suelo, así como provee nutrientes en grandes cantidades a las plantas (Durán & Henríquez, 2009). Según Acosta (2017), el humus presenta un pH neutro debido a la segregación de los iones de calcio realizado por las glándulas calcíferas de las lombrices *Eisenia foetida* y cuyo excesivo uso no perjudica las plantas a comparación de los agroquímicos.

CONCLUSIONES

La vermifiltración con *Eisenia foetida* representa una alternativa económicamente rentable, sostenible y eficiente para la eliminación de contaminantes y microorganismos patógenos del agua residual, ya que no requiere de altos costos de operación y mantenimiento, genera poco consumo de energía eléctrica, así como uso de aditivos químicos para la depuración de las aguas residuales, y no produce lodos contaminantes y malos olores, a comparación de las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales. Asimismo, el humus generado en el proceso puede ser usado como abono natural en el suelo, lo cual otorga un valor económico agregado a la vermifiltración.

El sistema de vermifiltración puede ser utilizado para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas, lo cual permite tratar adecuadamente las aguas residuales con el fin de que puedan ser reusadas para el riego de áreas verdes o puedan ser descargadas a cuerpos de agua, cumpliendo con la normativa vigente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A. (2017). *Evaluación del potencial de un sistema de vermifiltración mediante el uso de lombrices de tierra (Eisenia fétida) para el tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio*. 94.
- Arora, S., Kumar, T., & Rajpal, A. (2013). *Vermifiltration: A low-cost and sustainable alternative for wastewater treatment*. *Vermifiltration: A low-cost and sustainable alternative for wastewater treatment*. (July), 5.
- Cardoso-Vigueros, L., Ramírez-Camperos, E., & Garzón-Zúñiga, M. (2014). Evaluation of a Pilot Vermifilter for the Treatment of Wastewater. *Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua*, 5(2), 33–44. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2013.10.003>
- Choudhary, M. P., & Medok, P. (2017). Vermifiltration: An Efficient Method of Wastewater Treatment. *International Journal of Modern Trends in Engineering & Research*, 4(10), 189–195. <https://doi.org/10.21884/ijmter.2017.4326.5vvqk>
- De la Mora, C., Gómez, S., Angeles, M., Saucedo, R., Barrientos, E., González, I., & Domínguez, G. (2014). Vermifiltración: Una tecnología novedosa para el tratamiento de aguas residuales provenientes de granjas porcícolas. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, 8, 118.
- Dhadse, S., Satyanarayan, S., Chaudhari, P. R., & Wate, S. R. (2010). Vermifilters: A tool for aerobic biological treatment of herbal pharmaceutical wastewater. *Water Science and Technology*, 61(9), 2375–2380. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.523>
- Durán, L., & Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275–281.
- Gómez, H. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*, 36. Retrieved from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

- Kumar, C., & Ghosh, A. K. (2019). Fabrication of a vermifiltration unit for wastewater recycling and performance of vermifiltered water (vermiaqua) on onion (*Allium cepa*). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(4), 405–415. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0247-9>
- Kumar, T., Bhargava, R., Prasad, K. S. H., & Pruthi, V. (2015). Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 75, 370–377. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2014.11.044>
- Larios-Meño, J., González, C., & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2(1991), 9–25.
- Li, Y. S., Robin, P., Cluzeau, D., Bouché, M., Qiu, J. P., Laplanche, A., ... Callarec, J. (2008). Vermifiltration as a stage in reuse of swine wastewater: Monitoring methodology on an experimental farm. *Ecological Engineering*, 32(4), 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.11.010>
- Loro, A. C. (2018). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con Eisenia foetida y un biofiltro convencional*. Universidad Científica del Sur.
- Lourenço, N., & Nunes, L. M. (2017). Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. *Ecological Engineering*, 100(March), 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.074>
- Manyuchi, M., Kadzungura, L., & Boka, S. (2013). *Pilot Scale Studies for Vermifiltration of 1000 m³ / day of Sewage Wastewater Treatment Pilot Scale Studies for Vermifiltration of 1000m³ / day of Sewage Wastewater*. (January), 3–10.
- Manyuchi, M. M., Mbohwa, C., & Muzenda, E. (2018). Biological treatment of distillery wastewater by application of the vermifiltration technology. *South African Journal of Chemical Engineering*, 25, 74–78. <https://doi.org/10.1016/J.SAJCE.2017.12.002>

- Manyuchi, M., & Phiri, A. (2013). Application of the Vermifiltration Technology in Sewage Wastewater Treatment. *Asian Journal of Engineering and Technology*, 01(04), 2321–2462.
- Meiyan, X., Xiaowei, L., & Jian, Y. (2010). Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity. *African Journal of Biotechnology*, 9(44), 7513–7520. <https://doi.org/10.5897/ajb10.811>
- Paco, G., Loza-Murguía, M., Mamani, F., & Sainz, H. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2), 24–39. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942011000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Saboya, X. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas* (Universidad Peruana Unión). <https://doi.org/10.1587/transcom.E93.B.2477>
- Salazar, P. (2005). *Sistema Toha: una alternativa ecologica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. 117.
- Singh, R., Bhunia, P., & Dash, R. R. (2017). A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance. *Journal of Environmental Management*, 197, 656–672. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2017.04.042>
- Singh, R., Samal, K., Dash, R. R., & Bhunia, P. (2019). Vermifiltration as a sustainable natural treatment technology for the treatment and reuse of wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 247, 140–151. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.06.075>

- Sinha, R.K., Bharambe, G., & Bapat, P. (2006). Removal of High BOD and COD Loadings of Primary Liquid Wasre Products From Dairy Industry by Vermi-filtration Technology Using Earthworms. *Griffith University, School of Engineering*, 27(6), 486–501.
- Sinha, Rajiv K., Bharambe, G., & Chaudhari, U. (2008). Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: A low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. *Environmentalist*, 28(4), 409–420. <https://doi.org/10.1007/s10669-008-9162-8>
- Sosa, D., Viguera, J. M., & Holguín, E. (2014). La biofiltración: Una alternativa sustentable para el tratamiento de aguas residuales. *Vidsupra*, 6(2), 56–60.
- Telang, S., & Patel, H. (2015). Vermi-Biofiltration- A Low Cost Treatment for Dairy Wastewater. *International Journal of Science and Research*, 4(7), 595–599.