



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

EFICIENCIA DEL EISENIA FOETIDA COMO BIODEPURADOR EN LA
REMOCION DE COLIFORMES FECALES EN AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS

Línea de investigación:

Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar el grado académico de Maestra en Gestión Ambiental

Autora:

Culqui Bustos, Cristina

Asesor:

Sal y Rosas Julca, Mariano Andrés

(ORCID: 0000-0001-6548-389X)

Jurado:

Zambrano Cabanillas, Abel Walter

Zamora Talaverano, Noe Sabino

Mendoza García, José Tomás

Lima - Perú

2023

Reporte de Análisis de Similitud

Archivo:

[1A_CULQUI_BUSTOS_CRISTINA_MAESTRÍA_2022.docx](#)

Fecha del Análisis:

4/10/2022

Analizado por:

Astete Llerena, Johnny Tomas

Correo del analista:

jastete@unfv.edu.pe

Porcentaje:

3 %

Título:

EFICIENCIA DEL EISENIA FOETIDA COMO BIODEPURADOR EN LA REMOCIÓN DE COLIFORMES FECALES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Enlace:

<https://secure.arkund.com/old/view/138835429-240054-143729#DclxCoAwDAXQu2T+SJM0sfEq4iBFpYNdOop318d76B60rCxBQcEIIDoP0MDImAMczhmFMQGGu3q7Wx17/WgJU1JWEp29jDLakX0/QA=>



DRA. MIRIAM LILIANA FLORES CORONADO
JEFA DE GRADOS Y GESTIÓN DEL EGRESADO



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**EFICIENCIA DEL *EISENIA FOETIDA* COMO
BIODEPURADOR EN LA REMOCION DE
COLIFORMES FECALES EN AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS**

**Línea de investigación:
Biodiversidad ecología y conservación**

**Tesis para optar el Grado Académico de:
MAESTRA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**Autora:
Culqui Bustos, Cristina**

**Asesor:
Sal y Rosas Julca, Mariano Andrés
(ORCID: 0000-0001-6548-389X)**

**Jurado
Zambrano Cabanillas, Abel Walter
Zamora Talaverano, Noe Sabino
Mendoza García, José Tomás**

Lima - Perú

2023

Dedicatoria

- A mis padres, Carmela Bustos Tafur y José Edilberto Culqui Inga, por siempre animarme a que concluya esta investigación.
- A mis hermanos, por animarme hasta el final de esta investigación.

Agradecimiento

- A mi asesor de tesis, Mg. Ing. Mariano Sal y Rosas Julca, por su constancia en las indicaciones de esta investigación.
- A mis compañeros de clases, que, de una u otra manera, estuvieron involucrados en la finalización de esta investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Descripción del problema	21
1.3. Formulación del problema	22
Problema general.....	22
Problemas específicos	22
1.4. Antecedentes de la investigación	22
1.5. Justificación de la investigación	30
1.6. Limitaciones de la investigación.....	31
1.7. Objetivos de la investigación	31
Objetivo general.....	31
Objetivos específicos	31
1.8. Hipótesis.....	32
Hipótesis general.....	32
Hipótesis específicas	32
II. MARCO TEÓRICO	33

2.1. Base conceptual.....	33
2.2.1. Eisenia foetida como biodepurador	33
2.2.2. Aguas residuales domésticas	36
III. MÉTODO.....	40
3.1. Tipo de investigación.....	40
3.2. Población y muestra.....	40
3.2.1. Población	40
3.2.2. Muestra	41
3.3. Operacionalización de variables	42
3.4. Instrumentos.....	44
3.4.1. Aclimatación de la especie Eisenia foetida.....	44
3.4.2. Construcción del biodepurador.....	45
3.4.3. Cálculo de la Tasa de Filtración (TF).....	45
3.4.4. Cálculo de la Carga Orgánica Superficial (COS).....	46
3.4.5. Determinar la TF ideal.....	46
3.4.6. Efecto del biodepurador en los parámetros físicos.....	46
3.4.7. Efecto del biodepurador en los parámetros químicos.....	47
3.5. Procedimientos.....	48
3.6. Análisis de datos	54
IV. RESULTADOS	55
4.1. Aclimatación de la especie Eisenia foetida.....	55
4.2. Diseño del biodepurador	58
4.3. Tasa de Filtración (TF)	59
4.4. Carga Orgánica Superficial (COS)	61
4.5. Tasa de Filtración (TF) ideal.....	63

4.6. Variación de los parámetros físicos	64
4.7. Variación de los parámetros químicos	70
4.8. Análisis e interpretación.....	76
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	89
VI. CONCLUSIONES.....	93
VII. RECOMENDACIONES	94
VIII. REFERENCIAS	95
IX. ANEXOS.....	102
Anexo A. Matriz de consistencia	103
Anexo B. Galería de fotos.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	43
Tabla 2 Aclimatación de la lombriz.....	55
Tabla 3 Temperatura de aclimatación de la lombriz.....	56
Tabla 4 Temperatura ideal del hábitat de la lombriz	56
Tabla 5 Humedad ideal del hábitat de la lombriz	57
Tabla 6 Dimensionamiento del tanque receptor	58
Tabla 7 Dimensionamiento del biodepurador.....	58
Tabla 8 Carga del biodepurador.....	59
Tabla 9 Diferentes TF	61
Tabla 10 Diferentes COS	62
Tabla 11 Análisis de DQO para la TF ideal.....	63
Tabla 12 Análisis de DBO ₅ para la TF ideal.....	63
Tabla 13 Registro de datos SST	65
Tabla 14 Prueba t student para datos SST.....	66
Tabla 15 Registro de datos SSV	68
Tabla 16 Prueba t student para datos SSV	69
Tabla 17 Registro de datos DQO	71
Tabla 18 Prueba t student para datos DQO.....	72
Tabla 19 Registro de datos DQO ₅	74
Tabla 20 Prueba t student para datos DQO ₅	75
Tabla 21 Correlación de los días de aclimatación.....	78
Tabla 22 Matriz de consistencia.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aguas residuales tratadas en el Perú	20
Figura 2 Descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento.....	23
Figura 3 Esquema de un biodepurador	50
Figura 4 Aclimatación de la lombriz	77
Figura 5 Temperatura de aclimatación de la lombriz	79
Figura 6 Temperatura ideal del hábitat de la lombriz.....	80
Figura 7 Humedad ideal del hábitat de la lombriz.....	81
Figura 8 Tasa de Filtración (TS).....	82
Figura 9 Carga Orgánica Superficial (COS).....	83
Figura 10 Análisis del DQO para la TF ideal	84
Figura 11 Análisis del DBO ₅ para la TF ideal	84
Figura 12 Remoción de SST	85
Figura 13 Variación del SST	85
Figura 14 Remoción de SSV	86
Figura 15 Variación del SSV	86
Figura 16 Remoción de DQO	87
Figura 17 Variación del DQO.....	87
Figura 18 Remoción de DBO ₅	88
Figura 19 Variación del DBO ₅	88
Figura 20 Eisenia foetida	104
Figura 21 Hábitat del Eisenia foetida	104
Figura 22 Capa de piedra caliza.....	104

Figura 23 Capa de piedra pómez	104
Figura 24 Capa de vermicomposta	105
Figura 25 Capa de residuos orgánicos con <i>Eisenia foetida</i>	105
Figura 26 Carga del tanque receptor.....	105
Figura 27 Prueba del TF	105
Figura 28 Agitación del tanque receptor.....	106
Figura 29 Tapa del tanque receptor	106
Figura 30 Llenado de piedra caliza.....	106
Figura 31 Llenado de vermicomposta	106
Figura 32 Toma de muestra	107
Figura 33 Volumen de la muestra.....	107
Figura 34 Análisis comparativo 1	107
Figura 35 Análisis comparativo 2.....	107

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Tasa de Filtración (TF).....	59
Ecuación 2 Carga Orgánica Superficial (COS).....	61

RESUMEN

La presente investigación, *eficiencia del Eisenia foetida como biodepurador en la remoción de coliforme fecales en aguas residuales domésticas*, tuvo como **objetivo principal**, determinar la eficiencia del *Eisenia foetida* como biodepurador en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas. Se empleó la **metodología**, el tipo de investigación fue correlacional, con un nivel experimental, y enfoque cuantitativo, se tuvo mucho énfasis en la aclimatación de la lombriz, porque, debido a ello, radicó la efectividad de la investigación. Los **resultados** fueron, el tiempo de aclimatación de la especie *Eisenia Foetida*, ha sido de 6 semanas, durante ese tiempo una tasa de mortandad de 2.5%. La investigación **concluye** que: 1) Bajo las condiciones de diseño del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* para la remoción de aguas residuales domésticas, la óptima Tasa de Filtración (TF) es de 0.184 (m³/m²/d), y la óptima Carga Orgánica Superficial (COS) es de 110.48 (g/m²/d). 2) En el biodepurador construido con la especie *Eisenia foetida*, para tratar aguas residuales domésticas, la eficiencia de SST es 95% y la eficiencia de SSV es 70%. 3) En el biodepurador construido con la especie *Eisenia foetida*, para tratar aguas residuales domésticas, la eficiencia de DQO es 90% y la eficiencia de DBO₅ es 95%.

Palabras Claves: biodepurador, *Eisenia foetida*, Tasa de Filtración (TF), Carga Orgánica Superficial (COS).

ABSTRACT

The present investigation, *efficiency of Eisenia foetida as a bioscrubber in the removal of fecal coliform in domestic wastewater*, had as its main **objective**, determine the efficiency of *Eisenia foetida* as a bioscrubber in the removal of fecal coliforms in domestic wastewater. The **methodology** was used, the type of research was correlational, with an experimental level, and a quantitative approach, much emphasis was placed on the acclimatization of the worm, because, due to this, it established the effectiveness of the research. The **results** were, the acclimatization time of the *Eisenia Foetida* species has been 6 weeks, during that time a mortality rate of 2.5%. The **research** concludes that: 1) Under the design conditions of the bio-scrubber with the *Eisenia foetida* species for the treatment of domestic wastewater, the optimal Filtration Rate (FR) is 0.184 ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$), and the optimal Surface Organic Load (SOL) is 110.48 ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$). 2) In the bio-scrubber built with the *Eisenia foetida* species, to treat domestic wastewater, the TSS efficiency is 95% and the VSS efficiency is 70%. 3) In the bio-scrubber built with the *Eisenia foetida* species, to treat domestic wastewater, the COD efficiency is 90% and the BOD_5 efficiency is 95%.

Keywords: bio-scrubber, *Eisenia foetida*, Filtration Rate (FR), Surface Organic Load (SOL).

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domésticas son aquellas aguas de origen residencial y comercial que tienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y debe ser dispuestos adecuadamente (Organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental [OEFA], 13 de febrero de 2020). Esto quiere decir que el responsable, ineludiblemente, de las aguas residuales domésticas es el ser humano.

Como, las aguas residuales domésticas están en función de las personas, y se entiende de sus propias actividades, entonces, el aumento de estas aguas residuales domésticas, está en función del crecimiento poblacional.

Una persona, en promedio, evacua unos 150 gramos de caca al día (Parra, 14 de agosto de 2021). Cada descarga de inodoro consume entre 7.5 y 10.5 litros de agua (Aqua, 15 de agosto de 2021). El consumo de agua por persona por día, es de 50-100 L (Aqua, 15 de agosto de 2021). Esto denota que es ineludible, salvo enfermedad alguna, que las personas excreten todos los días.

Según estudio del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el año 2021, la población del país alcanzó 33.035.304 habitantes, habiendo aumentado en 17.7 veces, respecto a los resultados del Primer Censo de Población de la época Republicana, realizado en 1836, que totalizó 1 millón 873.736 personas (El Peruano, 12 de junio de 2021). Estas cifras demuestran que el excremento irá en aumento.

El INEI, sostiene que el Perú genera aproximadamente 2.217.946 m³ por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS). El 32% de estas recibe el tratamiento (INEI, 2015). La pregunta sería, y ¿qué del 68% restante?

En ese sentido, se requiere el reúso del agua residual, la cual sería una solución al problema de escases de agua en el mundo; *En un mundo en el que la demanda de agua potable crece continuamente, y donde los limitados recursos hídricos se ven cada vez más estresados por la sobreextracción, la contaminación y el cambio climático, desaprovechar las oportunidades que surgen de una mejor gestión de las aguas residuales es impensable en el contexto de una economía circular* (World Water Assessment Programme [WWAP], 2017, en Banco Mundial (BM), 2020).

¿Qué hacer con el agua residual doméstica?, hay que cambiar de paradigmas para la gestión de aguas residuales, *hay que pasar de residuo a recurso aprovechable.*

La presente investigación, basada en el principio de que la especie *Eisenia foetida*, una lombriz de tierra, come residuos orgánicos, en ese sentido, pueden comer residuos orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas, para ello, se tuvo que acondicionar un biodepurador, en la cual, la especie *Eisenia foetida*, esté su *hábitat natural*, y pueda seguir alimentándose de residuos orgánicos contenidos en las aguas residuales domésticas.

Ha tenido como objetivo principal, determinar la eficiencia del *Eisenia foetida* como biodepurador en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas. Así mismo, presentó los objetivos específicos: 1) Determinar los parámetros de diseño del biodepurador

con la especie *Eisenia foetida* que permita la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas. 2) Calcular el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros físicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas. Calcular el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros físicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas. 3) Calcular el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros químicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

La **forma de desarrollar la presente investigación**, fue la siguiente: 1) aclimatar la especie *Eisenia foetida* en un nuevo hábitat, 2) construcción del biodepurador, 3) determinar la Tasa de Filtración (TF), 4) determinar la Carga Orgánica Superficial (COS), 5) determinar de SST, SSV, DQO y DBO₅, en el afluente del biodepurador, 6) determinar de SST, SSV, DQO y DBO₅, en el efluente del biodepurador, 7) determinar la variación de SST, SSV, DQO y DBO₅, debido al efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida*.

Las **condiciones para realizar la presente investigación**, consistió en mantener viva la especie *Eisenia foetida*, mientras duró la etapa de diseño y montaje del biodepurador, para ello, se les alimentó de residuos orgánicos, tales como, lechuga, tomate y cáscara de plátano; había que tener presente que las lombrices, habitan bajo mucha tierra, esto significó que *su comida*, había que colocarlas *debajo* de la tierra, con la finalidad de que esté a su alcance. De igual forma, en días soleados, la tierra que las cubría, se secaba, y esto hacía que las lombrices no se alimenten, por lo que, se tenía que humedecer el agua, ya que la humedad era su correcto hábitat.

Los resultados de la presente investigación fueron: 1) Parámetros de diseño del biodepurador: material de PVC con dimensiones: $\Phi = 39.8$ cm de diámetro y $h = 48$ cm de altura. 2) El tiempo de aclimatación de la especie *Eisenia Foetida*, ha sido de 6 semanas, durante ese tiempo una tasa de mortandad de 2.5%.

El contenido de la presente investigación es el siguiente:

- El capítulo 1, introducción, presenta la introducción propiamente dicha, a la investigación, así como, el planteamiento del problema, descripción del problema formulación del problema, antecedentes de la investigación, justificación de la investigación, limitaciones de la investigación, objetivos de la investigación, e, hipótesis.
- El capítulo 2, marco teórico, contiene la base conceptual y la definición de términos.
- El capítulo 3, método, presenta el tipo de investigación, población y muestra, operacionalización de variables, instrumentos, procedimientos y análisis de datos.
- El capítulo 4, resultados, presenta los resultados obtenidos en la presente investigación.
- El capítulo 5, discusión de resultados, contiene la discusión de los resultados obtenidos con las investigaciones similares presentadas en los antecedentes.
- El capítulo 6, conclusiones, presenta, una vez discutido los resultados, estos recalcan en las conclusiones de la investigación, en concordancia con los objetivos de la presente tesis.
- El capítulo 7, recomendaciones, muestra las recomendaciones que se ha realizado a cada una de las conclusiones de la presente investigación.
- El capítulo 8, referencias, enumera las referencias empleadas en la presente investigación, ya sea tesis, publicaciones, libros, y noticias obtenidas de páginas de internet.
- El capítulo 9, anexos, presenta la matriz de consistencia, galería de fotos de la

investigación.

1.1. Planteamiento del problema

La forma de depurar aguas residuales se remonta a la antigüedad, se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Algunas de las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en nuestros días (Aguamarket, 15 de noviembre de 2016).

Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua viajaban grandes cantidades de materia orgánica. En Europa, ya a finales de la edad media, se empezó a usarse excavaciones subterráneas privadas y, más tarde, letrinas (Aguamarket, 15 de noviembre de 2016).

Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas (Aguamarket, 15 de noviembre de 2016).

De los párrafos anteriores, se puede colegir que, la eliminación de los residuos domésticos, ha constituido un problema primordial para la sociedad humana, en un principio, el problema se solucionaba con eliminarlo vía las líneas de desagüe, pero, a medida que la población aumentaba, los residuos domésticos aumentaban, en tal sentido, surgió la necesidad de tratar las excretas, con la finalidad de poder disponer los residuos domésticos.

En España, el Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación (CTNC) participa en la investigación del proyecto Afterlife.

Está desarrollando un innovador método de tratamiento de aguas residuales para recuperar un interesante compuesto de alto valor añadido. Los concentrados recuperados en cada unidad fueron tratados para obtener extractos y metabolitos de alta pureza o bien, convertirlos en biopolímeros, como el polihidroxialcanoato (PHA). Según CTNC, el resultado de este proceso es agua ultrapura que puede ser reutilizada (Agrodiario, 11 diciembre 2021).

En Gaza, Palestina, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) entraron en servicio de prueba a finales de 2020, y en funcionamiento regular a partir de abril de 2021.

Trabajos de ingeniería e ingeniería en tres plantas de tratamiento de agua al este del campo de refugiados de Al-Burij (centro de la Franja de Gaza) como parte de un proyecto para hacer frente a la emergencia hídrica en la zona sitiada. La primera fase incluye máquinas utilizadas en el proyecto capaces de tratar 60.000 m³ de aguas residuales. La segunda fase, que comenzará en 2025, duplicará la cantidad de aguas residuales tratadas hasta alcanzar 120.000 m³. (Monitor de Oriente [MEMO], 12 de diciembre 2021).

En los países bajos, un innovador sistema de una planta de tratamiento de aguas residuales que diseñaron podría dar solución al mundo rural.

En la región de Coquimbo, profesionales de BLUECON (Holanda) realizaron una visita a terreno para presentar una planta de tratamiento de aguas residuales rural diseñada específicamente para las condiciones ambientales rurales utilizando tecnología compacta; la unidad está completamente ensamblada en un contenedor. Hay mucho

espacio en el interior, evita la transmisión de ruidos y emisiones de olores, y el agua final entregada cumple con la legislación chilena y puede ser reutilizada por la comunidad, creando un ambiente más amigable y saludable para la comunidad (Esteban, 11 de diciembre de 2021).

Informe de investigación estadística del mercado mundial de equipos de tratamiento de aguas residuales de Estados Unidos (Forrest, 13 de diciembre 2021).

Muestra la realidad de las restricciones y procedimientos comerciales, incluidas las adquisiciones y fusiones de PTAR industriales, con mercado procesado durante el periodo de pronóstico de 2021 a 2031. El estudio cubre las tendencias actuales y futuras del mercado de PTAR industriales junto con los posibles resultados futuros.

Según datos del INEI en el 2014, en Lima Metropolitana se generaban diariamente 1.202.286 m³ de aguas residuales, de las cuales solo se trataba el 21.2%. Y para ese año en Lima Metropolitana existían 43 PTAR, 21 de ellas administradas por el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL); se sabe que, 8 por municipalidades distritales y el resto por otras instituciones (universidades, colegios, clubes, etc.) (Pontificia Universidad Católica del Perú [PUCP], 2018).

El hábitat de la vida acuática y marina se ve comprometida se ve afectada cuando las aguas residuales sin tratar son vertidas a los cuerpos de agua, por la acumulación de sólidos, haciendo que el oxígeno disminuya por la descomposición aerobia de la materia orgánica, y en caso de haber sustancias tóxicas, los organismos acuáticos pueden perjudicarse aún más, pudiendo extenderse hasta los organismos superiores por la bioacumulación en la cadena alimentaria (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2008; 2018).

Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (arenas y lodos) pueden contaminar el suelo y las aguas si no se manejan correctamente (SUNASS, 2008; 2018).

25 de las 32 PTAR nuevas de las EPS (construidas después del 2010) se encuentran en operación sin contar con su instrumento ambiental aprobado por el MVCS; y de estas, hay 3 que no cuentan con punto de vertimiento. Esta situación evidencia que aún hay aspectos que no son fiscalizados ni sancionados por las autoridades competentes (SUNASS, 2018).

Figura 1

Aguas residuales tratadas en el Perú



Nota. Muestra la proporción de las aguas residuales tratadas por las EPS en el Perú. Lamentablemente solo se registran hasta el 2018, según cifras oficiales del Sistema Nacional de Información Ambiental, <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=10>.

Como una innovación al sistema de vermicomposteo, el doctor José Tohá desarrolló un sistema conocido como *lombrifiltro* o *biofiltro* dinámico aeróbico, es decir, un biodepurador,

para el tratamiento de aguas residuales. Mediante un filtro percolador compuesto de diferentes estratos filtrantes y lombrices.

1.2. Descripción del problema

En el departamento de Lima, las aguas residuales presentan coliformes fecales, y estas aguas antes de ser ingresadas a la red de alcantarillado, pueden ser tratadas mediante la biodepuración, para luego ser reusadas.

Lamentablemente, no existe una estadística de actualizada respecto de la remoción de coliformes fecales en aguas residuales.

Los parque y jardines, en muchos casos, se emplea agua de caño, esta práctica hoy en día es un lujo, no solo desde el punto económico, sino, desde el punto de vista ambiental, dado que, en muchas ciudades del país, no existe redes de agua, lo que conlleva a comprarla por cilindros, siendo estos focos de contaminación.

Pronóstico de la situación problemática

En vez de emplear agua de caño para parque y jardines, se puede reutilizar aguas domésticas, previo tratamiento mediante un novedoso sistema, denominado *sistema Tohá*. Desde el punto de vista de salubridad, el tratamiento de aguas residuales domésticas es de vital importancia para la salud; desde el punto de vista ambiental, el tratamiento de aguas residuales domésticas, tiene una gran relevancia al poder reutilizar aguas residuales domésticas, en el remoción de coliformes fecales en aguas residuales urbanas, por medio del biodepurador, empleando la especie *Eisenia foetida*.

1.3. Formulación del problema

Problema general

¿Es eficiente la *Eisenia foetida* como biodepurador en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son los parámetros de diseño del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* que permita la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas?
- ¿Cuál es el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros físicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas?
- ¿Cuál es el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros químicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas?

1.4. Antecedentes de la investigación

El SINIA, sostiene que las últimas cifras oficiales del Ministerio del Ambiente (MINAM), en el departamento de Lima, sólo se han tratado el 88.3 % de las aguas residuales, a diferencia del departamento de Ayacucho que llega al 99.8 %. O, al departamento de Junín que sólo llega al 8.5 %, tomando como base, cada departamento en forma individual (SINIA, 2015).

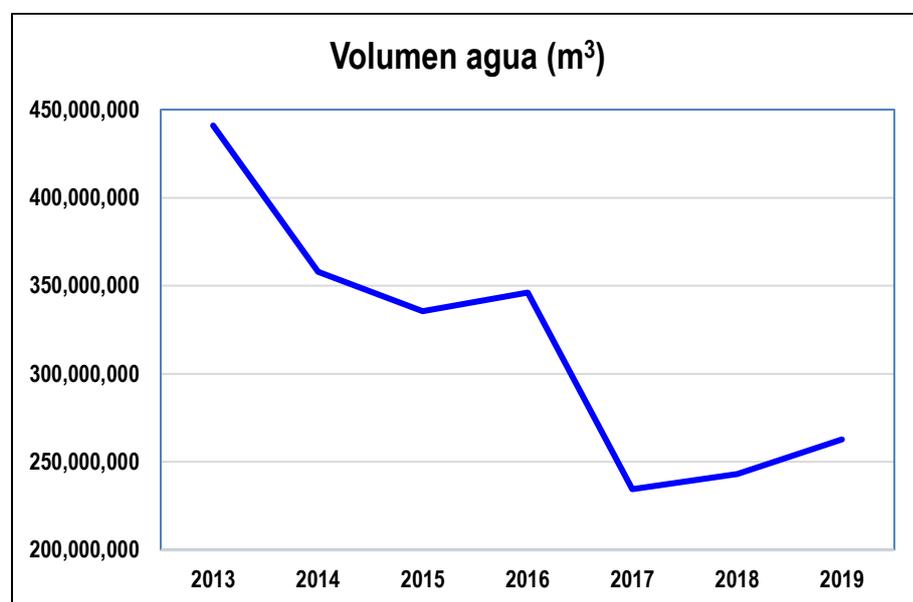
Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (2005).

La comunidad internacional reaccionó debido a la contaminación por arsénico detectada a finales de los 90 en Bangladesh, la cual generaba un riesgo para la salud de millones de personas. A partir de ahí, dicho país ha contado con la colaboración del BM y la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) para encontrar agua potable utilizando técnicas de hidrología isotópica [técnica nuclear que utiliza isótopos estables y radiactivos existentes en el medio ambiente] (Larios et al., 2015).

El INEI, sostiene que el Perú genera aproximadamente 2.217.946 m³ por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las EPS Saneamiento. El 32% de estas recibe el tratamiento. Cada habitante en el Perú genera 142 litros de aguas residuales al día (INEI, 2015).

Figura 2

Descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento



Nota. Muestra la descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento. Lamentablemente solo se registra hasta el 2019, según cifras oficiales del INEI, https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf

A continuación, se presenta algunas investigaciones que dieron base para la presente investigación:

Gutierrez (2019), interesado en la problemática del deficiente tratamiento del agua residual de cierta comunidad campesina, realiza una investigación: *Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales San José para su reúso con fines agrícolas Chiclayo, 2015.*

El objetivo general del estudio fue determinar en qué medida las mejoras a la planta de tratamiento de San José estaban asociadas con la reutilización del agua tratada de Chiclayo para fines agrícolas. La Metodología consistió en un análisis comparativo de la calidad del efluente actual con el límite máximo según la normatividad vigente, se propone un estudio de correlación y un diseño no experimental. Se concluyó que la PTAR estaban obstruidas con lodos del producto tratado, y por falta de mantenimiento por parte de EPSEL SA, los cálculos indicaron que la DBO a la salida de la PTAR podría ser de 6,98 mg/l, lo cual es aceptable para el riego de cultivos alimenticios.

Jianfeng et al. (2018), *Reduction of clog matter in constructed wetlands by metabolism of Eisenia foetida: Process and modeling [Reducción de material de obstrucción en humedales artificiales mediante el metabolismo de Eisenia foetida: Proceso y modelado]*.

El objetivo de este estudio fue analizar los efectos positivos de las lombrices de tierra (metabolizar y absorber una gran cantidad de microorganismos). La metodología consistió en construir Humedales Construidos (CW, abreviatura en inglés) puede observar la reducción de la Materia de Obstrucción (CM, abreviatura en inglés), es decir, carga contaminante, a lo largo del tiempo. Los resultados mostraron que la absorción metabólica de *Eisenia foetida* podría reducir efectivamente el contenido de

CM, y la tasa de eliminación promedio fue de 0.155 mg/d/día, que fue significativamente más alta que la tasa de degradación de CM por microorganismos individuales (MO).

Pérez et al. (2017), se interesaron por la eliminación del estiércol animal sin tratamiento, el cual puede ser perjudicial para el medio ambiente, realizaron una investigación titulada: *Growth and reproductive potential of Eisenia foetida (Sav) on various zoo animal dungs after two methods of pre-composting followed by vermicomposting [Potencial de crecimiento y reproducción de Eisenia foetida (Sav) en varios excrementos de animales de zoológico después de dos métodos de pre-compostaje seguido de vermicompostaje]*.

El objetivo general fue analizar una comparación de dos compost, uno convencional y otro con tratamiento. El método consistió en comparar dos muestras, la primera fue composta convencional, la segunda fue precompostada con bokashi (abono orgánico, materia orgánica fermentada), y luego una vermicomposta compuesta por *Eisenia foetida*. Los resultados mostraron que el índice de preparación del precompost con la adición de bokashi y vermicompost dio valores más altos que otros métodos de adaptación.

Paico (2017), interesado en la reutilización de las aguas domésticas (p. 13), realiza una investigación denominada: *Sistema Tohá, para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo*, lo realizó en Perú.

El objetivo general fue reducir los agentes contaminantes de las aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo. La metodología consistió en análisis de un grupo experimental y un grupo de control (p. 99). La investigación concluye (p. 56) en que el sistema Tohá es efectivo en un 25.10%.

Jin, Li y Li (2016), interesados en la ecología, y mejorar el sistema ecológico de los humedales, realizaron un estudio denominado: *Effect of Earthworm Eisenia foetida in Constructed Wetland on Purification of Country Wastewater [Efecto de la lombriz de tierra Eisenia Foetida en humedal construido sobre depuración de aguas residuales del país]*.

El objetivo fue, analizar el efecto de la lombriz de tierra en humedales artificiales que permitan la purificación de aguas residuales. La metodología consistió en analizar aguas residuales de familias campesinas al lado del lago Taihu, China, y posteriormente se construyeron humedales artificiales en tierra. Los resultados determinaron que la *Eisenia foetida* puede mejorar la condición del oxígeno disuelto en el humedal.

Vizcaíno y Fuentes (2016), realizaron una investigación comparativa entre dos especies para medir el rendimiento en los coliformes, denominada: *Effects of Eisenia foetida and Eichhornia crassipes in the removal of organic matter, nutrients and coliforms in domestic wastewater [Efectos de Eisenia foetida y Eichhornia crassipes en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos]*.

El objetivo general fue conocer la capacidad depuradora de un sistema biológico potencialmente aplicable como alternativa para la reducción de la carga contaminante de efluentes residuales domésticos de un municipio. La metodología consistió en analizar 30 muestras (10 para cada sistema). La investigación concluye que la *Eisenia foetida* (biofiltro dinámico aerobio de flujo vertical) fue la más eficiente en la remoción de DQO 69.2%.

Sastoque et al. (2016), analizaron el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico, para su posterior uso agrícola e industrial, en su investigación denominada: *Diseño, operación y evaluación de PTAR*.

El objetivo fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y parasitológicas de biosólidos de la planta de tratamiento San Fernando en Itagüí (Antioquia, Colombia). El método consistió en el análisis de 12 muestras de biosólidos recolectadas mensualmente de enero a diciembre y sometidas a análisis fisicoquímicos y microbiológicos de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica Colombiana 5167. Los resultados muestran que los macro y micronutrientes cumplen con los parámetros establecidos para la materia orgánica utilizada como abono. No hubo correlación entre la sedimentación y el contenido de patógenos en los biosólidos.

Das et al. (2016), realizaron una investigación con el intento de convertir desechos orgánicos como Jacinto de agua, paja de arroz y aserrín en abono orgánico, a través del vermicompostajes con *Eisenia foetida*, titulada: *Bioconversion and biodynamics of Eisenia foetida in different organic wastes through microbially enriched vermiconversion technologies* [Bioconversión y biodinámica de *Eisenia foetida* en diferentes desechos orgánicos a través de tecnologías de vermiconversión enriquecidas con microbios].

El objetivo general fue determinar la biotransformación y biocinética de *Eisenia foetida* en diversos residuos orgánicos. El método consistió en analizar las propiedades químicas y bioquímicas del vermicompost cuidadosamente formulado. Los resultados indicaron que los sustratos tratados con los cuatro MO juntos seguidos de vermicompostaje produjeron estiércol de alta calidad. Los resultados mostraron que la combinación de lombrices y MO, además de producir un compostaje rico en nutrientes, también redujo el tiempo total requerido para el compostaje.

Ramón et al. (2015), investigaron el tratamiento de aguas residuales urbanas (p. 1), motivo por el cual realizaron una investigación, denominada: *Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida* la realizaron en Colombia.

El objetivo general fue el diseño y construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Pamplona. El método se basó en el uso de lombrifiltro compuesto por aserrín y *Eisenia foetida* y tiene en cuenta ciertas variables: caudal, velocidad, tiempo de residencia hidráulica y altura del sistema. El estudio concluye que la eficiencia del sistema instalado y compara los valores de DQO, DBO, SST y SSV a la entrada y salida del sistema. Las conclusiones fueron: 1) Verifica que la carga de entrada sea bastante alta en comparación con el 92,06% de remoción de carga orgánica en el sistema de lombrifiltro. 2) El tipo de lecho utilizado permitió obtener buenos resultados a nivel de laboratorio en la etapa de aserrín-lombriz.

Singh et al. (2015), realizaron una investigación de las lombrices de tierra, para analizar los materiales ingeridos como fuentes de carbono o energía, en su investigación, denominada: *Taxonomic and functional annotation of gut bacterial communities of Eisenia foetida and Perionyx excavates [Anotación taxonómica y funcional de las comunidades bacterianas intestinales de Eisenia foetida y Perionyx excavatus]*.

El objetivo general fue explorar la diversidad taxonómica y funcional de los microbiomas intestinales de estas dos lombrices utilizando herramientas genómicas y bioinformáticas para organizar y almacenar información relacionada con macromoléculas biológicas. El método consistió en realizar estudios metagenómicos comparativos mediante la carga de datos de abundancia taxonómica de los

metagenomas intestinales. Los resultados mostraron que el metagenoma de *Eisenia foetida* tiene una cantidad relativamente alta de degradadores de quitina (17%), mientras que *Perionyx excavatus* registró solo un 4% de degradadores de quitina.

Cardoso et al. (2013), preocupados por los tratamientos convencionales del agua residual que representan un alto costo de inversión y operación en sitios donde la instalación de drenaje no es viable (p. 1), realizan una investigación referente a la eficacia del vermifiltro para el tratamiento de aguas residuales. La investigación denominada: *Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales*, la realizaron en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), en México.

Los objetivos del trabajo fueron: 1) diseñar e instalar un vermifiltro piloto (VP) para el tratamiento de aguas. 2) evaluar la eficiencia del vermifiltro en la remoción de contaminantes. El método incluyó en colocar en el VP, una capa de material orgánico filtrante, una capa de residuos orgánicos sólidos que contenían lodo residual mezclado con residuos de comida (hortalizas y fruta), y, un material inorgánico filtrante. Se concluyó que las muestras de agua residual afluyente que ingresaba a la caja de distribución se encontraban en el rango de concentración donde el agua residual se clasificó como débil, pero mostró una alta variabilidad por las actividades de la institución y la época de lluvias. Las recomendaciones del tratado consistieron en que el Tiempo De Residencia Hidráulica (TRH) en estos sistemas se denomina cálculo de cantidad de tiempo porque el fluido del proceso pasa por el interior del vermifiltro y no es una medida precisa del TRH.

La contaminación de aguas residuales es un tema bastante antiguo, y las aguas residuales domésticas están relacionadas a la población y sobre todo, al número de pobladores,

es decir, debido al incremento de la población, habrá un incremento en el volumen de aguas residuales domésticas.

Existen diversos métodos para la remoción de coliformes fecales en aguas residuales, en este caso, evaluaremos la eficacia de una biodepuración con la especie *Eisenia foetida*, para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.5. Justificación de la investigación

La presente investigación permite demostrar la eficiencia de un método denominado sistema Tohá, que admite la reutilización del agua, para lo cual se comparará un análisis microbiológico, físico y químico, entre, las aguas domésticas que ingresan al sistema (*antes de*) y las aguas residuales que salen del sistema (*después de*).

- Teórica, pretende evaluar que el sistema de filtros biológicos, mediante lombrices, permiten la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas, como un método de tratamiento de aguas residuales,
- Práctica, pretende evaluar que se puede implementar un sistema de biodepuración que permita la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas, como un método de tratamiento de aguas residuales,
- Metodológica, pretende aplicar la metodología del sistema Tohá, mediante empleo de un lombrifiltro, que permita la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas, como un método de tratamiento de aguas residuales, y
- Social, pretende mitigar los impactos causados en el medio ambiente, debido a la falta de tratamiento de las aguas residuales.

1.6. Limitaciones de la investigación

- **Limitación para conseguir la especie *Eisenia foetida***, en forma inicial, fueron proporcionadas por la Universidad Nacional Agraria La Molina. A partir de ahí, ya fue posible su producción y reproducción de la especie *Eisenia foetida*.
- **Limitación en las pruebas de campo por la COVID-19**, Al inicio de la investigación, antes de la pandemia, las pruebas piloto se realizaron en el Laboratorio de Toxicología y Bioquímica de la FIGAE, para lo cual ya contaba con la autorización correspondiente, lamentablemente, por la COVID-19, la universidad tuvo las puertas cerradas, hasta la fecha, motivo por el cual las pruebas de campo, se realizaron en una piscina privada.

1.7. Objetivos de la investigación

Objetivo general

Determinar la eficiencia del *Eisenia foetida* como biodepurador en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* que permita la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.
- Calcular el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros físicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

- Calcular el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros químicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

1.8. Hipótesis

Hipótesis general

La eficiencia del *Eisenia foetida* como biodepurador en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

Hipótesis específicas

- Se determina los parámetros de diseño del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* que permita la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.
- Se calcula el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros físicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.
- Se calcula el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros químicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Base conceptual

2.2.1. *Eisenia foetida* como biodepurador

Contaminación de aguas. La clasificación de los contaminantes que podemos encontrar en un agua puede hacerse de forma muy diversa. Una de ellas, que atiende a la naturaleza física, química o biológica de los agentes, es la siguiente:

- agente físico,
- compuestos químicos inorgánicos,
- compuestos químicos orgánicos,
- bionutrientes,
- microorganismos.

Aguas residuales. *Agua que, por su calidad, cantidad o disponibilidad, no tiene valor directo ni para el fin al que se destina ni para su producción. Sin embargo, las aguas residuales de un usuario pueden utilizarse como suministro para otro usuario en otro lugar. El agua de refrigeración no se considera agua residual* (Food and Agriculture Organization [FAO], 2016, en Ingenieros sin fronteras [ISF], 15 de junio de 2020).

Un agua residual puede definirse como un residuo líquido recogido mediante la red de alcantarillado para su envío a una planta depuradora, el tipo y la cantidad de agua residual

afluente a una estación depuradora reflejan la naturaleza del área a la que sirve, el uso que se le ha dado y las condiciones del medio de conducción.

El OEFA, clasifica a las aguas residuales, según (OEFA, 20 de setiembre de 2019):

- aguas residuales domésticas,
- aguas residuales industriales,
- aguas residuales municipales.

Eisenia foetida. El animal tiene un cuerpo cilíndrico alargado que se estrecha en los extremos y consta de 94 a 96 anillos, cada uno con una función específica. Son invertebrados que se mueven contrayendo anillos y músculos (Paico, 2017, p. 22).

Tiene 182 sistemas excretores, 6 riñones y 5 corazones; respiran a través de su piel (no tienen pulmones), sus cabezas no tienen ojos ni tentáculos, pero son muy sensibles a la luz. Tiene células especiales en todo su cuerpo que lo alertan de la presencia de la luz, su aterrador enemigo. Los rayos ultravioleta lo matan en segundos, por eso muere si se expone a la luz del sol por unos minutos (Agroflor) (Paico, 2017, p. 22).

No tiene dientes ni mandíbulas y, por lo tanto, no puede triturar los alimentos, los chupa por la boca y, cuando ingresa al estómago, unas glándulas especiales son responsables de la secreción de carbonato de calcio, cuyo propósito es neutralizar su ácido. Desgaste que se encuentra en los alimentos ingeridos Después de pasar por todo el sistema digestivo, se excreta a través del ano, ubicado al final (Paico, 2017, p. 22).

Biodepurador. Los biofiltros descomponen los compuestos orgánicos a través de la oxidación biológica. El flujo de gases de escape pasa a través de una capa de material inerte (como plástico o cerámica) donde los compuestos orgánicos se oxidan por exposición al MO natural. Los biofiltros son sensibles al polvo, las altas temperaturas o las grandes fluctuaciones en la temperatura de entrada de los gases de escape. (Comisión Europea, 20 de noviembre de 2015).

Los biodepuradores utilizan MO natural para tratar el aire que contiene amoníaco y sustancias olorosas, como compuestos reducidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles (COV). Los MO se encuentran en la superficie del lecho del biofiltro y solo requieren riego y una pequeña cantidad de nutrientes. Los MO consumen estos contaminantes olorosos para promover su crecimiento y limpiar el aire en el proceso (Ingeniería y Gestión ambiental, 18 de enero de 2019).

Un biodepurador es un biofiltro combinado con un depurador húmedo que prepara los gases residuales eliminando el polvo y reduciendo la temperatura de entrada. El agua, que se recicla continuamente, ingresa por la parte superior de la columna del lecho compacto, de la cual fluye poco a poco. Se recoge en un depósito de decantación, donde se produce una degradación adicional. El ajuste del pH y la adición de nutrientes pueden optimizar la degradación (Comisión Europea, 20 de noviembre de 2015).

Sistema Tohá. También conocido como *lombrifiltro* o *biofiltro dinámico aeróbico*, es un filtro percolador compuesto de diferentes estratos filtrantes y lombrices. El agua residual percola a través de los diferentes lechos filtrantes, quedando retenida la materia orgánica en el lecho, la que posteriormente es consumida por las lombrices.

Algunas de las ventajas de este sistema de tratamiento son que **descompone** casi **todos** los sólidos orgánicos, **no produce** lodos inestables como **otros** sistemas de **tratamiento** y el lecho filtrante **no es impermeable porque** no se **obstruye**. Esta característica se debe principalmente a la acción de las **lombrices**, que crean túneles y **pasajes a través de incansables movimientos, logrando** que el filtro sea **siempre altamente permeable** (Parra y Chiang, 2014).

2.2.2. *Aguas residuales domésticas*

Contaminación microbiológica. La contaminación microbiológica en los ambientes acuáticos proviene de descargas de agua residual y fuentes dispersas, provenientes de desechos fecales de animales y humanos. El grupo coliforme está formado por bacterias que producen gas durante la fermentación de la lactosa y pueden crecer en medios con ventas biliares (Fernández y Barrera, 2013).

La remoción de contaminantes se lleva a cabo mediante una serie de mecanismos que tienen lugar entre la vegetación, suelo y MO (Khatiwada et al., 1999, en Segura, 2017).

Tratamiento de aguas residuales. Existen diversas tecnologías naturales de tratamiento de aguas residuales entre las que destacan (Parra y Chiang, 2014): las lagunas de estabilización, el lombrifiltro (modelo Tohá), los humedales artificiales.

Uso del agua reutilizada. En el caso de urbanizaciones sostenibles se generará como uso principal el riego de parques y jardines, es decir todo tipo de zonas verdes. El proceso de

diseño de la urbanización de población fija, tendrá como principal reto asumir la dotación de agua por los habitantes y generar la suficiente agua para regar todas las áreas verdes (Arce, 2013).

En algunos casos el agua residual tratada es mayor que la cantidad necesaria para riego de zonas verdes en la urbanización. En esos casos será necesario retirar el agua hacia el receptor más cercano, teniendo en consideración el ECA (Estándar de calidad del agua) que corresponde para el uso del receptor (Arce, 2013).

Definición de términos básicos

- **Afluente del agua residual doméstica.** Caudal del agua residual doméstica que ingresa al biodepurador.
- **Aguas residuales urbanas.** Son las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial.
- **Anaerobios.** Se llama anaerobios a los organismos que no necesitan oxígeno (O₂) para desarrollarse, a diferencia de los organismos aerobios.
- **Bacterias.** Nombre que reciben los organismos unicelulares y microscópicos, que carecen de núcleo diferenciado y se reproducen por división celular sencilla.
- **Carga Orgánica Superficial (COS).** Es la fuente de alimento para los MO de los que se van a alimentar las lombrices, es la cantidad de orgánicos secos aplicados. Se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación: **COS = Tasa de filtración * Concentración de materia orgánica en el biodepurador [g/m²/d]**
- **Carga superficial.** Véase, Tasa de filtración.
- **Coliformes fecales.** Grupo de bacterias que se encuentran en abundancia en el intestino del hombre. Se las utiliza como indicador de contaminación microbiológica de las aguas.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).** Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días. Medida de la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación del material carbonoso de una muestra de agua, por la población microbiana, a lo largo de cinco días de incubación y a una temperatura de 20 °C.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato de potasio, en una solución de ácido sulfúrico y convertirla en dióxido de carbono y agua, en consecuencia, la DQO representaría la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar químicamente una muestra.
- **Efluente del agua residual doméstica.** Caudal del agua residual doméstica que sale del biodepurador (ya han sido tratadas por el biodepurador).
- **Las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS).** Son las responsables de administrar y gestionar los sistemas de alcantarillado que conducen las aguas residuales o aguas negras a las denominadas PTAR, dentro de sus ámbitos de operación, en el sector urbano.
- **Patógenos.** Que originan una enfermedad.
- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).** Es un sistema en el cual se realiza la limpieza del agua usada y las aguas residuales, para lo cual, elimina los sólidos reduce la materia orgánica y los contaminantes, así como, restaura el oxígeno.
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST).** Es el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 µm secado y llevado a masa constante a una temperatura de 105 °C ± 2 °C.
- **Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).** Son aquellos sólidos suspendidos que se volatilizan en la calcinación a 550 °C ± 50 °C.

- **Tasa de Filtración (TF).** Es el caudal de agua a tratar en la superficie del biodepurador [afluente al biodepurador]. Se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación: **TF = (Volumen de agua residual) / (Área biodepurador * tiempo) [m³/m²/d].**

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación, ha sido del tipo correlacional, debido a que, ha permitido medir cuantitativamente, el efecto de la biodepuración para la remoción de coliformes fecales.

Nivel de la investigación

La presente investigación, según la intervención del investigador, es del tipo experimental, debido a que se ha podido deliberadamente, manipular una de las variables, en tal sentido, se considera como una investigación experimental.

La búsqueda de un nuevo conocimiento, *Sistema Tohá*, aplicado a aguas residuales domésticas ha permitido determinar parámetros de eficiencia.

Enfoque de la investigación

La presente investigación, tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que se han registrado datos numéricos de las variables, los cuales fueron procesados en su momento.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

El colon es la parte más larga del intestino grueso, es el órgano que forma de tubo que se conecta con el intestino delgado por un extremo y con el ano por el otro, es el órgano que extrae el agua y algunos nutrientes y electrolitos de los alimentos parcialmente digeridos

(Instituto Nacional del Cáncer [INC], 13 de agosto de 2021), el de un adulto puede retener entre 8 y 10 kilos de restos intestinales (Pixa, 13 de agosto de 2021), una persona, en promedio, evacua unos 150 gramos de caca al día (Parra, 14 de agosto de 2021). Cada descarga de inodoro consume entre 7.5 y 10.5 litros de agua (Aqua, 15 de agosto de 2021).

El consumo de agua por persona por día, es de 50-100 L (Aqua, 15 de agosto de 2021).

Como ya se indicó líneas arriba, las aguas residuales se obtuvieron de un edificio que se ubica al frente del local de la UNFV, ubicado en la Av. Colonial. Este edificio tiene 12 pisos y en cada piso hay 6 departamentos, 72 departamentos por todo; considerando una familia promedio de 3 miembros, se tiene 216 residentes en promedio en todo el edificio.

Cálculo del agua residual doméstica por día:

- **Flujo intestinal diario:** $216 \text{ personas} * 0.15 \text{ Kg/persona} = 32.4 \text{ Kg/día}$.
- **Flujo de agua de los inodoros:** $216 \text{ veces} * 9 \text{ L/vez} = 1.944.00 \text{ L/día}$.
- **Consumo promedio por persona:** $75 \text{ L/día} ((50 + 100) / 2 = 75 \text{ L/día/persona}$
- **Se asume:** 80 L/día.
- **Flujo de agua por día:** $216 \text{ personas} * 80 \text{ L/día} = 17.280.00 \text{ L/día}$.
- **Flujo agua residual doméstica que ingresa al pozo séptico:** 1.88 g/L (32 400 g / 17.280 L).

Estadísticamente hablando, el tamaño de la población es de 17.280.00 L de agua residual doméstica.

3.2.2. *Muestra*

Se estableció un periodo el trabajo de cuatro meses, cuatro semanas por mes, es decir, son 16 semanas de trabajo.

Para el análisis de agua residual se usó la técnica semanal de muestreo (Cardoso et al., 2013), que, aunque parezca muy antigua, es una técnica que no ha cambiado en muchos años, las muestras se tomarán en forma semanal, será de 50 L de agua residual (Paico, 2017).

Estadísticamente hablando, el tamaño de la muestra es de 50 L de agua residual doméstica.

Muestreo:

Se utilizó un muestreo aleatorio estratificado, porque se utilizó una subpoblación de características homogéneas que permitieron trabajar con un Sistema Tohá de tamaño experimental.

3.3. Operacionalización de variables

Variable independiente: *Eisenia foetida como biodepurador*, es emplear la lombriz de tierra *Eisenia foetida* como parte de un lecho filtrante (una primera capa de residuos orgánicos sólidos y lodo, junto con *Eisenia foetida*, una segunda capa de vermicomposta, una tercera capa de material filtrante -piedra pómez-, y una cuarta capa de material filtrante, piedra caliza), con la finalidad de realizar un proceso biológico (actúa como biodepurador) mediante los MO responsables de la degradación biológica de los contaminantes.

Variable dependiente: *coliformes fecales en aguas residuales domésticas*, los coliformes fecales son un subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en grandes cantidades en los intestinos, y que, junto con el agua de los inodoros, han sido transportados en el flujo de los efluentes procedentes de zonas de viviendas (aguas residuales domésticas), este efluente, esta agua residual doméstica, ingresa directamente a la línea de desagüe de Lima.

La operacionalización de variables se presenta en la **Tabla 1**.

Tabla 1*Operacionalización de variables.*

Variables	Indicador	Técnica	Instrumento	Criterio de evaluación	Tipo de valor
Variable independiente: <i>Eisenia foetida</i> como biodepurador	Parámetros de diseño	Observación	Guía de observación	Unidades	Continuo
	Parámetros físicos				
	Parámetros químicos				
Variable dependiente: coliformes fecales en aguas residuales domésticas	Tasa de Filtración (TF)	Observación	Escala de observación	[m ³ /m ² /d]	Continuo
	Carga Orgánica Superficial (COS)			[g/m ² /d]	
	Cantidad de SST	Observación	Escala de observación	[mg/L]	Continuo
	Cantidad de SSV			[mg/L]]	
	Cantidad de DQO			[mg/L]	
Cantidad de DBO ₅			[mg/L]		

3.4. Instrumentos

3.4.1. *Aclimatación de la especie Eisenia foetida*

La *técnica* empleada para investigar la aclimatación de la especie *Eisenia foetida*, fue la observación.

El instrumento empleado para registrar los datos de aclimatación fue una matriz de registro:

Una primera matriz, que contenía la siguiente información:

- fecha de adquisición de la lombriz,
- peso inicial de la matriz.

Una segunda matriz, *aclimatación de la lombriz*, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 2**):

- el número de semana de investigación,
- el peso (g) de la lombriz, en función al tiempo (semana).

Una tercera matriz, *temperatura de aclimatación de la lombriz*, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 3**):

- el número de semana de investigación,
- la temperatura (°C), en función al tiempo (semana).

Una cuarta matriz, *temperatura ideal del hábitat de la lombriz*, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 4**):

- temperatura (°C) de registro,
- movilidad de la lombriz: gran movilidad / mediana movilidad / movilidad.

Una quinta matriz, *temperatura ideal del hábitat de la lombriz*, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 5**):

- humedad (%) de registro,

- movilidad de la lombriz: gran movilidad / mediana movilidad / movilidad.

3.4.2. *Construcción del biodepurador*

La *técnica* empleada para realizar la construcción del biodepurador fue la observación.

El instrumento empleado para la construcción de biodepurador fue el *check list*, de una matriz, que contenía los siguientes datos a comprobar:

- diámetro (cm) de biodepurador,
- altura total (cm) de biodepurador,
- altura (cm) de cada lecho: lecho 1) piedra caliza (la capa que está más abajo), 2) lecho 2) piedra pómez, 3) vermicomposta, 4) MO (la capa que está más arriba).
- altura (cm) para el ingreso del afluente del agua residual doméstica.

3.4.3. *Cálculo de la Tasa de Filtración (TF)*

La *técnica* empleada para realizar el cálculo de la TF fue la observación.

El instrumento empleado para registrar los datos para el cálculo de la TF, fue una matriz de registro, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 9**):

- diámetro (cm) de biodepurador,
- área (m²) del biodepurador,
- tiempo (h) de residencia del agua residual doméstica,
- tiempo (d) de residencia del agua residual doméstica,
- caudal (mL/min) del afluente del agua residual doméstica,
- caudal (m³/h) del afluente del agua residual doméstica,
- TF (m³/m²/d) de biodepurador.

3.4.4. *Cálculo de la Carga Orgánica Superficial (COS)*

La *técnica* empleada para realizar el cálculo de la COS fue la observación.

El instrumento empleado para registrar los datos para el cálculo de la COS, fue una matriz de registro, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 9**):

- TF ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) de biodepurador,
- Concentración (g/m^3) de materia orgánica en el bioflitro.
- COS ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) de la lombriz.

3.4.5. *Determinar la TF ideal*

La *técnica* empleada para determinar la TF ideal fue la observación.

El instrumento empleado para registrar los datos para determinar la TF ideal, fue una matriz de registro, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 11**):

- TF ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) de biodepurador,
- COS ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) de la lombriz
- DQO (mg/L) en el afluente,
- DQO (mg/L) en el efluente,
- variación (%) del DQO,
- DBO₅ (mg/L) en el afluente,
- DBO₅ (mg/L) en el efluente,
- variación del (%) DBO₅.

3.4.6. *Efecto del biodepurador en los parámetros físicos*

La *técnica* empleada para determinar el efecto del biodepurador en los parámetros físicos, fue la observación.

El instrumento empleado para registrar los datos del efecto del efecto del biodepurador, en SST, fue una matriz de registro, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 13**):

- TF ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) de biodepurador,
- COS ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) de la lombriz,
- SST (mg/L) del afluente,
- SST (mg/L) del efluente,
- variación porcentual del SST (%), entre el SST del afluente y el SST del efluente.

El instrumento empleado para registrar los datos del efecto del efecto del biodepurador, en SSV, fue una matriz de registro, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 15**):

- TF ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) de biodepurador,
- COS ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) de la lombriz,
- SSV (mg/L) del afluente,
- SSV (mg/L) del efluente,
- variación porcentual del SSV (%), entre el SSV del afluente y el SSV del efluente.

3.4.7. *Efecto del biodepurador en los parámetros químicos*

La *técnica* empleada para determinar el efecto del biodepurador en los parámetros químicos, fue la observación.

El instrumento empleado para registrar los datos del efecto del efecto del biodepurador, en DBO, fue una matriz de registro, que contenía la siguiente información, por columna (**Tabla 18**):

- TF ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) de biodepurador,
- COS ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) de la lombriz,

- DQO (mg/L) del afluente,
- DQO (mg/L) del efluente,
- variación porcentual del DQO (%), entre el DQO del afluente y el DQO del efluente.

El instrumento empleado para registrar los datos del efecto del efecto del biodepurador, en DBO₅, fue una matriz de registro, que contenía la siguiente información, por columna

(Tabla 29):

- TF (m³/m²/d) de biodepurador,
- COS (g/m²/d) de la lombriz,
- DBO₅ (mg/L) del afluente,
- DBO₅ (mg/L) del efluente,
- variación porcentual del DBO₅ (%), entre el DBO₅ del afluente y el DBO₅ del efluente.

3.5. Procedimientos

1. *Aclimatación de la especie Eisenia foetida*, se realizaron las siguientes actividades:

- Adquisición de lombrices: se adquirieron en la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).
- Características de la lombriz: se determinó peso y densidad poblacional, separándolos en la superficie en dos recipientes.
- Nuevo hábitat de la lombriz: es un recipiente cerrado, se prepara un lecho compuesto de residuos orgánicos sólidos y lodo.
- Cantidad inicial de las lombrices: pesar 100 g.
- Aclimatación de las lombrices: se introdujeron las lombrices al lecho, observándolas en forma semanal, durante dos meses y medio (Parra y Chiang, 2014),

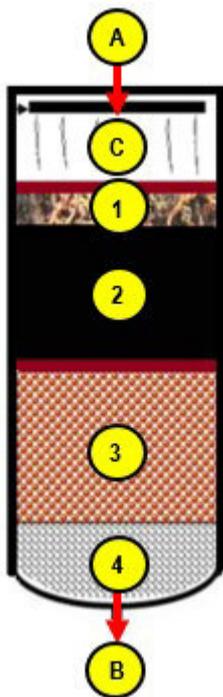
- Concluido el período: se pesaron las lombrices que han quedado vivas,
- Se procedió con la atenta observación y registros semanales.

2. ***Construcción del biodepurador, se realizarán las siguientes actividades:***

- Dimensionamiento del biodepurador: se habilita un recipiente de plástico (**Figura 22**) de $\Phi = 39.8$ cm de diámetro y $h = 48$ cm de altura, con fondo y tapa superior, se le hace un orificio en la tapa y otro orificio en la base.
- Instalación del biodepurador: sobre el nivel del biodepurador se instala un recipiente de PVC (**Figura 26**), el cual contiene las aguas residuales domésticas. este recipiente tiene una tubería que sale del fondo y entre al biodepurador por la parte superior, se controla por una “llave de paso” (Vizcaíno y Fuentes, 2016), con la finalidad de dosificar la entrada de las aguas residuales domésticas.
- Carga del biodepurador: primer lecho (**Figura 22**) de piedra caliza (6 cm), segundo lecho (**Figura 23**) de piedra pómez (18 cm), tercer lecho (**Figura 24**) de vermicomposta (16 cm), cuarto lecho (**Figura 25**) de MO conjuntamente con la especie (**Figura 21**) *Eisenia foetida* (2 cm), y, en la parte superior, queda un espacio libre para el ingreso del agua residual doméstica (6 cm).
- Flujo de las Aguas Residuales Domésticas (ARD): se prueba el funcionamiento del biodepurador (**Figura 32**) con un caudal de 0.05 L/min (Ramón et al., 2015), empezando con 5 horas al día.

Figura 3

Esquema de un biodepurador



Nota. Esta figura muestra el esquema de un biodepurador para poder realizar las pruebas de laboratorio.

- a. Ingreso del agua residual. Punto de muestreo de las variables (ingreso al sistema).
 - b. Efluente biodepurado. Punto de muestreo de las variables (salida del sistema).
 - c. Espacio que permite homogenizar el ingreso del agua residual.
1. Capa de residuos orgánicos sólidos y lodo, con *Eisenia foetida* (la capa que está más arriba).
 2. Capa de vermicomposta estabilizada, mezcla de lodo residual y hojas secas.
 3. Capa de material filtrante 1, piedra pómez.
 4. Capa de material filtrante 2, piedra caliza (la capa que está más abajo).

3. *Tasa de Filtración (TF):*

- Medición del diámetro (cm) de biodepurador.
- Medición de la sección transversal recta, área (m²) del biodepurador.
- Medición del tiempo (h) de residencia del agua residual doméstica en el biodepurador.

- Conversión de unidades del tiempo (d) de residencia del agua residual doméstica.
- Medición del caudal (mL/min) del afluente del agua residual doméstica.
- Conversión del caudal (m³/h) del afluente del agua residual doméstica.
- Cálculo del TF (m³/m²/d) de biodepurador (**Ecuación 1**).

4. *Carga Orgánica Superficial (COS):*

- TF (m³/m²/d) de biodepurador,
- Determinación de la concentración (g/m³) de materia orgánica en el biodepurador.
- Cálculo de la COS (g/m²/d) de la lombriz.

5. *Tasa de Filtración (TF) ideal:*

- Registro de la TF (m³/m²/d) de biodepurador.
- Registro de la COS (g/m²/d) de la lombriz.
- Análisis de la DQO (mg/L) en el afluente.
- Análisis de la DQO (mg/L) en el efluente.
- Cálculo de la variación (%) del DQO.
- Análisis de la DBO₅ (mg/L) en el afluente.
- Análisis de la DBO₅ (mg/L) en el efluente.
- Cálculo de la variación del (%) DBO₅.

6. *Parámetros físicos:*

- **SST:**
- TF (m³/m²/d) de biodepurador,
- COS (g/m²/d) de la lombriz,

- Tomar muestra del afluente del agua residual doméstica,
 - Análisis químico (externo) de la muestra para determinar SST del afluente,
 - Registro de SST (mg/L) del afluente,
 - Funcionamiento del biodepurador,
 - Tiempo de espera,
 - Toma de muestra del efluente del agua residual doméstica,
 - Análisis químico (externo) de la muestra para determinar SST del efluente,
 - Registro de SST (mg/L) del efluente,
 - Cálculo de la variación (%) del SST, entre el SST del afluente y el SST del efluente.
 - Análisis estadístico de SST (mg/L) del afluente, SST (mg/L) del efluente, y, variación (%) del SST; se realizó con la subfunción: *prueba t para medias de dos muestras emparejadas*, de la función: *análisis de datos*, de la hoja de cálculo Excel.
-
- **SSV:**
 - TF ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) de biodepurador,
 - COS ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) de la lombriz,
 - Tomar muestra del afluente del agua residual doméstica,
 - Análisis químico (externo) de la muestra para determinar SSV del afluente,
 - Registro de SSV (mg/L) del afluente,
 - Funcionamiento del biodepurador,
 - Tiempo de espera,
 - Toma de muestra del efluente del agua residual doméstica,
 - Análisis químico (externo) de la muestra para determinar SSV del efluente,
 - Registro de SSV (mg/L) del efluente,
 - Cálculo de la variación (%) del SSV, entre el SSV del afluente y el SSV del efluente.

- Análisis estadístico de SSV (mg/L) del afluente, SSV (mg/L) del efluente, y, variación (%) del SSV; se realizó con la subfunción: *prueba t para medias de dos muestras emparejadas*, de la función: *análisis de datos*, de la hoja de cálculo Excel.

7. *Parámetros químicos:*

- **DQO:**

- TF ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) de biodepurador,
- COS ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) de la lombriz,
- Tomar muestra del afluente del agua residual doméstica,
- Análisis químico (externo) de la muestra para determinar DQO del afluente,
- Registro de DQO (mg/L) del afluente,
- Funcionamiento del biodepurador,
- Tiempo de espera,
- Toma de muestra del efluente del agua residual doméstica,
- Análisis químico (externo) de la muestra para determinar DQO del efluente,
- Registro de DQO (mg/L) del efluente,
- Cálculo de la variación (%) del DQO, entre el DQO del afluente y el DQO del efluente.
- Análisis estadístico de DQO (mg/L) del afluente, DQO (mg/L) del efluente, y, variación (%) del DQO; se realizó con la subfunción: *prueba t para medias de dos muestras emparejadas*, de la función: *análisis de datos*, de la hoja de cálculo Excel.

- **DBO₅:**

- TF ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) de biodepurador,
- COS ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) de la lombriz,

- Tomar muestra del afluente del agua residual doméstica,
- Análisis químico (externo) de la muestra para determinar DBO₅ del afluente,
- Registro de DBO₅ (mg/L) del afluente,
- Funcionamiento del biodepurador,
- Tiempo de espera,
- Toma de muestra del efluente del agua residual doméstica,
- Análisis químico (externo) de la muestra para determinar DBO₅ del efluente,
- Registro de DBO₅ (mg/L) del efluente,
- Cálculo de la variación (%) del DBO₅, entre el DBO₅ del afluente y el DBO₅ del efluente.
- Análisis estadístico de DBO₅ (mg/L) del afluente, DBO₅ (mg/L) del efluente, y, variación (%) del DBO₅; se realizó con la subfunción: *prueba t para medias de dos muestras emparejadas*, de la función: *análisis de datos*, de la hoja de cálculo Excel.

3.6. Análisis de datos

Una vez concluida la etapa de colección de los datos en una base de datos en Excel, se realizó el procesamiento y análisis de los datos de los elementos de la muestra determinada.

Para el análisis de datos, se examinó los valores registrados, lo cual permitió inspeccionar, limpiar y transformar los datos en una tabla, sólo se consideraron aquellos valores que tiene una mínima desviación estándar, se utilizaron herramientas informáticas, la hoja de cálculo de Excel.

IV. RESULTADOS

4.1. Aclimatación de la especie *Eisenia foetida*

Debido a la fragilidad de las lombrices se debió tener mucho cuidado al momento de manipularlas, empleando para ellos un *palito de helado*.

- Porcentaje de aclimatación de la lombriz

Tabla 2

Aclimatación de la lombriz

Semana	Peso (g)
1	100.0
2	98.5
3	98.3
4	98.0
5	97.8
6	97.5
7	97.5
8	97.5
9	97.5
10	97.5

Nota. Cada semana se pesó las lombrices. En la semana 1, el peso inicial fue de 100 g, en la semana 6, el peso fue de 97.5 g. A partir de la semana 6, el peso se mantuvo en 97.5

La **Tabla 3**, muestra que las lombrices se aclimataron a partir de la semana 6, teniendo una mortandad de 2.5%.

El rendimiento de la aclimatación se calcula de la siguiente manera:

$$\text{rendimiento} = (\text{peso inicial} - \text{peso lombrices muertas}) / \text{peso inicial} * 100 [\%]$$

$$\text{rendimiento} = (100.0 - 2.5) / (100.0) * 100 \%$$

rendimiento = 97.5%

- **Temperatura de aclimatación de la lombriz**

Tabla 3

Temperatura de aclimatación de la lombriz

Semana	Temperatura (°C)
1	22.0
2	23.5
3	24.0
4	23.0
5	22.0
6	23.5
7	24.0
8	23.0
9	23.0
10	23.5

Nota. Se realizó el registro de temperatura cada semana.

La **Tabla 4**, muestra que las lombrices se aclimataron en rango de 2 °C, con una temperatura mínima de 22 °C, y una temperatura máxima de 24 °C.

- **Temperatura ideal del hábitat de la lombriz**

Se realizó un análisis de movilidad motora de la lombriz, en función de la temperatura.

Tabla 4

Temperatura ideal del hábitat de la lombriz

Temperatura (°C)	Movilidad
20.0	gran movilidad
20.5	gran movilidad
21.0	gran movilidad

Temperatura (°C)	Movilidad
21.5	gran movilidad
22.0	gran movilidad
22.5	gran movilidad
23.0	mediana movilidad
23.5	mediana movilidad
24.0	movilidad
24.5	movilidad

Nota. La observación paciente permitió determinar la movilidad motora de la lombriz en diferentes temperaturas.

La **Tabla 5**, muestra que las lombrices tienen una *gran movilidad* en un rango de temperatura de 2.5 °C, con una temperatura mínima de 20 °C, y una temperatura máxima de 22.5 °C.

- **Humedad ideal del hábitat de la lombriz**

Se realizó un análisis de movilidad motora de la lombriz, en función de la humedad relativa.

Tabla 5

Humedad ideal del hábitat de la lombriz

Humedad (%)	Movilidad
50.0	movilidad
55.0	movilidad
60.0	mediana movilidad
65.0	mediana movilidad
70.0	gran movilidad
75.0	gran movilidad
80.0	gran movilidad
85.0	mediana movilidad
90.0	mediana movilidad
95.0	movilidad

Nota. La observación paciente permitió determinar la movilidad motora de la lombriz en diferentes humedades relativas.

La **Tabla 6**, muestra que las lombrices tienen una *gran movilidad* en un rango de humedad relativa de 10%, con una humedad relativa mínima de 70 °C, y una humedad relativa máxima de 80%.

Parámetros de diseño del biodepurador

4.2. Diseño del biodepurador

Tabla 6

Dimensionamiento del tanque receptor

Descripción	Material
Material	cloruro de polivinilo (PVC)
Tapa	PVC
Agitador	palo de escoba
Φ	39.8 cm
h	48 cm
Ingreso	parte superior del tanque
Salida	tubería de PVC $\Phi = \frac{1}{2}$ "
Control de flujo	válvula de paso de PVC $\Phi = \frac{1}{2}$ "

Tabla 7

Dimensionamiento del biodepurador

Descripción	Material
Material	PVC
Tapa	PVC
Φ	39.8 cm
h	48 cm
Afluyente	ingreso por la tapa, mediante una tubería de PVC $\Phi = \frac{1}{2}$ "
Control de flujo	válvula de paso de PVC $\Phi = \frac{1}{2}$ "

Descripción	Material
Efluente	salida de la parte baja del biodepurador, mediante un caño de PVC, $\Phi = \frac{1}{2}$ "

Tabla 8

Carga del biodepurador

Capa	Material
0	afluente del agua residual doméstica
1	residuos orgánicos, lodo con <i>Eisenia foetida</i>
2	vermicomposta, lodo y hojas secas
3	material filtrante, piedra pómez
4	material filtrante, piedra caliza

Hipótesis específica 1: Se determina los parámetros de diseño del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* que permita la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

4.3. Tasa de Filtración (TF)

$$TF = \frac{\text{volumen de agua residual (m}^3\text{)}}{\text{Área (m}^2\text{)} * \text{tiempo (d)}}$$

TF, es una definición bastante antigua, sostiene Sinha et al. (2008), pero que, se sigue utilizando (Cardoso et al., 2013).

Ecuación 1

Tasa de Filtración (TF)

$$TF = \frac{\text{volumen de agua residual} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}} \right]}{\text{Área vermifitro} * \text{tiempo}} \quad (1)$$

- **Área (A):**

$$A = \pi * D^2 / 4$$

$$= (3.14159) * (39.8 / 100)^2 / 4$$

$$A = 0.1244 \text{ m}^2$$

- **Tiempo de residencia (t):**

$$t = 19 \text{ h}$$

$$= (19 / 24) \text{ d}$$

$$t = 0.792 \text{ d}$$

- **Caudal del afluente (Q_a):**

$$Q_a = 400 \text{ mL} / \text{min}$$

$$= (400 \text{ mL}) * (1 \text{ L} / 1000 \text{ mL}) * (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ L}) * (60 \text{ min} / 1 \text{ h})$$

$$Q_a = 0.024 \text{ m}^3$$

- **Tasa de Filtración (TF):**

Reemplazando en la **Ecuación 1**:

$$TF = \frac{\text{volumen de agua residual}}{\text{Área vermifitro} * \text{tiempo}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}} \right]$$

$$TF = \frac{0.024}{0.1244 * 0.792} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}} \right]$$

$$TF = 0.244 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}} \right]$$

- **Diferentes (TF):**

Tabla 9

Diferentes TF

N°	D (cm)	A (m ²)	t (h)	t (d)	Q (mL/min)	Q (m ³ /h)	TF (m ³ /m ² /d)
1	39.8	0.1244	19	0.792	400	0.024	0.244
2	39.8	0.1244	22	0.917	350	0.021	0.184
3	39.8	0.1244	28	1.167	300	0.018	0.124

Nota. Se empleó la **Ecuación 1**, para diferentes t (h), tiempos de residencia y para diferentes Q (mL/min), caudales.

4.4. Carga Orgánica Superficial (COS)

$$\text{COS} = \text{TF} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}} \right) * \text{C} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right)$$

COS, es una definición bastante antigua, sostiene Sinha et al. (2008), pero que, se sigue utilizando (Cardoso et al., 2013).

Ecuación 2

Carga Orgánica Superficial (COS)

$$\text{COS} = \text{TF} * \text{C} \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 * \text{d}} \right] \quad (2)$$

- **Tasa de Filtración (TF):**

$$\text{TF} = 0.244 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}} \right]$$

- **Concentración de masa orgánica (C):**

$$C = 700 \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right]$$

- **Concentración Orgánica Superficial (COS):**

Reemplazando en la **Ecuación 2**:

$$\text{COS} = \text{TF} * C \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 * \text{d}} \right]$$

$$\text{COS} = 0.244 * 700 \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 * \text{d}} \right]$$

$$\text{COS} = 170.57 \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 * \text{d}} \right]$$

- **Diferentes (COS):**

Tabla 10

Diferentes COS

Nº	TF (m ³ /m ² /d)	C (g)	COS (g/m ² /d)
1	0.244	700	170.57
2	0.184	600	110.48
3	0.124	500	62.01

Nota. Se empleó la **Ecuación 2**, para diferentes TF (m³/m²/d), tasa de filtración y para diferentes C (g), concentración de materia orgánica en el biodepurador.

4.5. Tasa de Filtración (TF) ideal

Tabla 11

Análisis de DQO para la TF ideal

Nº	TF (m ³ /m ² /d)	COS (g/m ² /d)	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO (%)
1	0.244	170.57	350.4	155.4	56
2	0.184	110.48	320.7	25.9	92
3	0.124	62.01	370.3	54.3	85

Nota. 92% es la mejor eficiencia del biodepurador, para una TF de 0.184 (m³/m²/d)

La **Tabla 11**, indica que, por encima de una TF de 0.184 (m³/m²/d), o, por debajo de ella, es decir, una TF de 0.244 (m³/m²/d), o, una TF de 0.124 (m³/m²/d), la variación del DQO es, 56%, o, 85%, respectivamente, en cualquiera de los casos, es un porcentaje inferior al del 92%, que le corresponde una TF es 0.184 (m³/m²/d).

Tabla 12

Análisis de DBO₅ para la TF ideal

Nº	TF (m ³ /m ² /d)	COS (g/m ² /d)	DBO ₅ (mg/L)	D BO ₅ (mg/L)	DBO ₅ (%)
1	0.244	170.57	65.3	17.3	74
2	0.184	110.48	80.3	1.2	99
3	0.124	62.01	85.3	4.7	94

Nota. 99% es la mejor eficiencia del biodepurador, para una TF de 0.184 (m³/m²/d)

La **Tabla 12**, indica que, por encima de una TF de 0.184 (m³/m²/d), o, por debajo de ella, es decir, una TF de 0.244 (m³/m²/d), o, una TF de 0.124 (m³/m²/d), la variación del DBO₅ es, 74%, o, 94%, respectivamente, en cualquiera de los casos, es un porcentaje inferior al del 99%, que le corresponde una TF es 0.184 (m³/m²/d).

De las **Tabla 11** y la **Tabla 12**, se deduce que la TF de 0.184 ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$), es la TF de trabajo, es aquella que proporcionó mejores resultados en la experimentación.

4.6. Variación de los parámetros físicos

Hipótesis específica 2: Se calcula el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros físicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

- **Remoción de SST:**

1. **Planteamiento del problema**

- *Parámetro poblacional de interés:* SST
- *Hipótesis científica:* La evaluación de SST en un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* para la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

2. **Planteamiento de la hipótesis**

- *Variable de investigación:* SST
- *Hipótesis nula (H_0):* La evaluación de un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* no remueve los SST mayor a una eficiencia de 95%.
 $H_0: \mu < 95\%$ eficiencia de remoción.
- *Hipótesis alternativa (H_1):* La evaluación de un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* sí remueve los SST mayor a una eficiencia de 95%.
 $H_1: \mu \geq 95\%$ eficiencia de remoción.

3. Niveles de prueba

- *Nivel de significancia inicial (α):* $\alpha = 0,05$
- *Supuestos:*
 Se supone que la variable SST sigue una distribución normal.
 Se supone se desconoce "S" la desviación estándar poblacional.
- *Estadígrafo de prueba (T):* $T = (x - \mu) / (S / \sqrt{n})$
- *Tamaño de la muestra (n):* $n = 16$
- *Grados de libertad (r):* $r = 15$
- *Estadígrafo poblacional (tabla t student):* $\alpha = 0,05$ y $r = 15$, se tiene, $t = 1,753$

4. Recolección de la información muestral

Tabla 13

Registro de datos SST

Nº	SST (mg/L) (antes) ¹	SST (mg/L) (después) ²	Remoción ³ (%)
1	92.4	3.2	96.54
2	84.6	2.9	96.57
3	90.3	3.2	96.46
4	95.2	3.1	96.74
5	84.8	2.7	96.82
6	91.3	3.3	96.39
7	95.7	3.4	96.45
8	99.3	3.2	96.78
9	82.4	3.1	96.24
10	91.3	3.1	96.60
11	98.4	3.2	96.75
12	88.4	3.1	96.49
13	104.5	3.4	96.75
14	83.5	2.8	96.65
15	98.4	3.5	96.44
16	97.9	3.2	96.73
Prom	92.40	3.15	96.59

Nota. Son los registros semanales de SST, para un TF de 0.184 (m³/m²/d).

¹ Registro de SST (mg/L) del afluente al biodepurador.

² Registro de SST (mg/L) del efluente al biodepurador.

³ Remoción de SST (%) = [(1) – (2)] / (1) * 100.

5. Prueba con t student

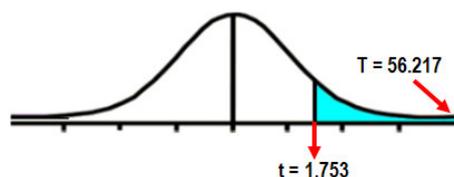
Tabla 14

Prueba t student para datos SST

Parámetro	SST(antes)	SST(después)
Media	92.4	3.15
Varianza	42.37600000	0.0453
Observaciones	16	16
Coefficiente de correlación de Pearson	0.755161059	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	15	
Estadístico t	56.21663859	
P(T<=t) una cola	3.66291E-19	
Valor crítico de t (una cola)	1.753050356	
P(T<=t) dos colas	7.32583E-19	
Valor crítico de t (dos colas)	2.131449546	

Nota. Obtenido de la subfunción: *prueba t para medias de dos muestras emparejadas*, de la función: *análisis de datos* de la hoja de cálculo Excel.

6. Análisis de student



- Estadígrafo de prueba (T): T = 56.216

- Valor crítico (t): $t = 1,753$
- Nivel de significancia (p) $p = 7.32 * 10^{-19}$
- $T > t$ y $p \ll \alpha$
- El valor observado de t muestral se localiza en la región de rechazo, entonces, **se rechaza la H_0** , es decir, se acepta **H_1** .
- Por lo tanto, el biodepurador con la especie *Eisenia foetida* si remueve los SST con una eficiencia mayor al 95%.

- **Remoción de SSV:**

1. **Planteamiento del problema**

- **Parámetro poblacional de interés:** SSV
- **Hipótesis científica:** La evaluación de SSV en un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* para la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

2. **Planteamiento de la hipótesis**

- **Variable de investigación:** SSV
- **Hipótesis nula (H_0):** La evaluación de un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* no remueve los SSV mayor a una eficiencia de 70%.
 $H_0: \mu < 70\%$ eficiencia de remoción.
- **Hipótesis alternativa (H_1):** La evaluación de un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* sí remueve los SSV mayor a una eficiencia de 70%.
 $H_1: \mu \geq 70\%$ eficiencia de remoción.

3. **Niveles de prueba**

- *Nivel de significancia inicial (α):* $\alpha = 0,05$
- *Supuestos:*
 Se supone que la variable SSV sigue una distribución normal.
 Se supone se desconoce "S" la desviación estándar poblacional.
- *Estadígrafo de prueba (T):* $T = (x - \mu) / (S / \sqrt{n})$
- *Tamaño de la muestra (n):* $n = 16$
- *Grados de libertad (r):* $r = 15$
- *Estadígrafo poblacional (tabla t student):* $\alpha = 0,05$ y $r = 15$, se tiene, $t = 1,753$

4. Recolección de la información muestral

Tabla 15

Registro de datos SSV

Nº	SSV (mg/L) (antes) ¹	SSV (mg/L) (después) ²	Remoción ³ (%)
1	61.4	18.4	70.03
2	58.3	13.7	76.50
3	61.5	17.5	71.54
4	61.6	15.6	74.68
5	57.4	14.6	74.56
6	60.6	17.5	71.12
7	65.2	18.8	71.17
8	63.4	15.3	75.87
9	57.3	13.5	76.44
10	58.5	17.5	70.09
11	63.9	16.3	74.49
12	60.9	15.9	73.89
13	67.4	18.4	72.70
14	57.4	16.4	71.43
15	63.5	15.8	75.12
16	62.5	15.6	75.04
Prom	61.30	16.30	73.42

Nota. Son los registros semanales de SSV, para un TF de 0.184 (m³/m²/d).

¹ Registro de SSV (mg/L) del afluente al biodepurador.

² Registro de SSV (mg/L) del efluente al biodepurador.

³ Remoción de SSV (%) = [(1) – (2)] / (1) * 100.

5. Prueba con t student

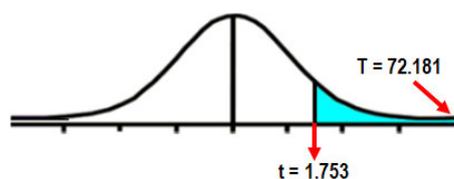
Tabla 16

Prueba t student para datos SSV

Parámetro	SSV(antes)	SSV(después)
Media	61.3	16.3
Varianza	8.928000000	2.619
Observaciones	16	16
Coefficiente de correlación de Pearson	0.55095613	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	15	
Estadístico t	72.18116145	
P(T<=t) una cola	8.73262E-21	
Valor crítico de t (una cola)	1.753050356	
P(T<=t) dos colas	1.74652E-20	
Valor crítico de t (dos colas)	2.131449546	

Nota. Obtenido de la subfunción: *prueba t para medias de dos muestras emparejadas*, de la función: *análisis de datos* de la hoja de cálculo Excel.

6. Análisis de student



- Estadígrafo de prueba (T): T = 72.181
- Valor crítico (t): t = 1,753

- Nivel de significancia (p) $p = 1.74 * 10^{-20}$
- $T > t$ y $p \ll \alpha$
- El valor observado de t muestral se localiza en la región de rechazo, entonces, **se rechaza la H_0** , es decir, se acepta **H_1** .
- Por lo tanto, el biodepurador con la especie *Eisenia foetida* si remueve los SSV con una eficiencia mayor al 70%.

4.7. Variación de los parámetros químicos

Hipótesis específica 3: Se calcula el efecto del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* de los parámetros químicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

- **Remoción de DQO:**

1. **Planteamiento del problema**

- **Parámetro poblacional de interés:** DQO
- **Hipótesis científica:** La evaluación de DQO en un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* para la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

2. **Planteamiento de la hipótesis**

- **Variable de investigación:** DQO
- **Hipótesis nula (H_0):** La evaluación de un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* no remueve los DQO mayor a una eficiencia de 90%.

$H_0: \mu < 90\%$ eficiencia de remoción.

- **Hipótesis alternativa (H_1):** La evaluación de un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* sí remueve los DQO mayor a una eficiencia de 90%.

$H_1: \mu \geq 90\%$ eficiencia de remoción.

3. Niveles de prueba

- **Nivel de significancia inicial (α):** $\alpha = 0,05$

- **Supuestos:**

Se supone que la variable DQO sigue una distribución normal.

Se supone se desconoce "S" la desviación estándar poblacional.

- **Estadígrafo de prueba (T):** $T = (x - \mu) / (S / \sqrt{n})$
- **Tamaño de la muestra (n):** $n = 16$
- **Grados de libertad (r):** $r = 15$
- **Estadígrafo poblacional (tabla t student):** $\alpha = 0,05$ y $r = 15$, se tiene, $t = 1,753$

4. Recolección de la información muestral

Tabla 17

Registro de datos DQO

Nº	DQO (mg/L) (antes) ¹	DQO (mg/L) (después) ²	Remoción ³ (%)
1	280.8	21.7	92.27
2	268.4	20.2	92.47
3	281.3	19.4	93.10
4	285.8	20.3	92.90
5	265.3	17.7	93.33
6	274.6	18.2	93.37
7	295.3	16.7	94.34
8	288.5	22.1	92.34
9	268.3	20.6	92.32
10	269.1	19.7	92.68

Nº	DQO (mg/L) (antes) ¹	DQO (mg/L) (después) ²	Remoción ³ (%)
11	295.5	17.8	93.98
12	278.5	19.4	93.03
13	293.3	21.9	92.53
14	261.6	18.3	93.00
15	290.9	19.2	93.40
16	289.2	18.8	93.50
Prom	280.40	19.50	93.04

Nota. Son los registros semanales de DQO, para un TF de 0.184 (m³/m²/d).

¹ Registro de DQO (mg/L) del afluente al biodepurador.

² Registro de DQO (mg/L) del efluente al biodepurador.

³ Remoción de DQO (%) = [(1) – (2)] / (1) * 100.

5. Prueba con t student

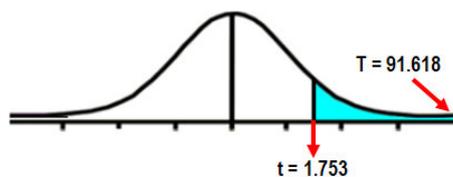
Tabla 18

Prueba t student para datos DQO

Parámetro	DQO(antes)	DQO(después)
Media	280.4	19.5
Varianza	129.1106667	2.496
Observaciones	16	16
Coefficiente de correlación de Pearson	0.051731671	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	15	
Estadístico t	91.61814681	
P(T<=t) una cola	2.46105E-22	
Valor crítico de t (una cola)	1.753050356	
P(T<=t) dos colas	4.9221E-22	
Valor crítico de t (dos colas)	2.131449546	

Nota. Obtenido de la subfunción: *prueba t para medias de dos muestras emparejadas*, de la función: *análisis de datos* de la hoja de cálculo Excel.

7. Análisis de student



- Estadígrafo de prueba (T): $T = 91.618$
- Valor crítico (t): $t = 1,753$
- Nivel de significancia (p) $p = 4.92 * 10^{-22}$
- $T > t$ y $p \ll \alpha$
- El valor observado de t muestral se localiza en la región de rechazo, entonces, **se rechaza la H_0** , es decir, se acepta **H_1** .
- Por lo tanto, el biodepurador con la especie *Eisenia foetida* si remueve la DQO con una eficiencia mayor al 90%.

- **Remoción de DBO₅:**

1. **Planteamiento del problema**

- **Parámetro poblacional de interés:** DBO₅
- **Hipótesis científica:** La evaluación de DBO₅ en un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* para la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas.

2. **Planteamiento de la hipótesis**

- **Variable de investigación:** DBO₅
- **Hipótesis nula (H_0):** La evaluación de un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* no remueve los DBO₅ mayor a una eficiencia de 95%.

$H_0: \mu < 95\%$ eficiencia de remoción.

- **Hipótesis alternativa (H_1):** La evaluación de un biodepurador con la especie *Eisenia foetida* sí remueve los DBO₅ mayor a una eficiencia de 95%.

$H_1: \mu \geq 95\%$ eficiencia de remoción.

3. Niveles de prueba

- **Nivel de significancia inicial (α):** $\alpha = 0,05$

- **Supuestos:**

Se supone que la variable DBO₅ sigue una distribución normal.

Se supone se desconoce "S" la desviación estándar poblacional.

- **Estadígrafo de prueba (T):** $T = (x - \mu) / (S / \sqrt{n})$
- **Tamaño de la muestra (n):** $n = 16$
- **Grados de libertad (r):** $r = 15$
- **Estadígrafo poblacional (tabla t student):** $\alpha = 0,05$ y $r = 15$, se tiene, $t = 1,753$

4. Recolección de la información muestral

Tabla 19

Registro de datos DQO₅

Nº	DBO ₅ (mg/L) (antes) ¹	DBO ₅ (mg/L) (después) ²	Remoción ³ (%)
1	61.2	1.2	98.04
2	55.5	1.8	96.76
3	60.1	1.2	98.00
4	65.7	1.3	98.02
5	59.3	1.3	97.81
6	59.7	1.7	97.15
7	64.4	1.4	97.83
8	62.5	1.1	98.24
9	58.2	1.4	97.59
10	62.5	1.5	97.60

Nº	DBO ₅ (mg/L) (antes) ¹	DBO ₅ (mg/L) (después) ²	Remoción ³ (%)
11	63.9	1.4	97.81
12	59.6	1.9	96.81
13	61.8	1.6	97.41
14	58.4	1.3	97.77
15	61.2	1.5	97.55
16	65.2	1.5	97.70
Prom	61.20	1.44	97.63

Nota. Son los registros semanales de DBO₅, para un TF de 0.184 (m³/m²/d).

¹ Registro de DBO₅ (mg/L) del afluente al biodepurador.

² Registro de DBO₅ (mg/L) del efluente al biodepurador.

³ Remoción de DBO₅ (%) = [(1) – (2)] / (1) * 100.

5. Prueba con t student

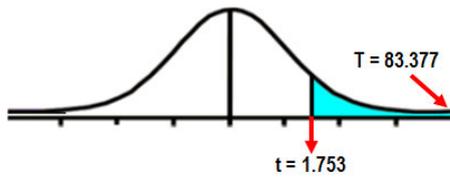
Tabla 20

Prueba t student para datos DQO₅

Parámetro	DBO ₅ (antes)	DBO ₅ (después)
Media	61.2	1.44375
Varianza	7.765333333	0.049291667
Observaciones	16	16
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.32650104	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	15	
Estadístico t	83.37651616	
P(T<=t) una cola	1.00937E-21	
Valor crítico de t (una cola)	1.753050356	
P(T<=t) dos colas	2.01875E-21	
Valor crítico de t (dos colas)	2.131449546	

Nota. Obtenido de la subfunción: *prueba t para medias de dos muestras emparejadas*, de la función: *análisis de datos* de la hoja de cálculo Excel.

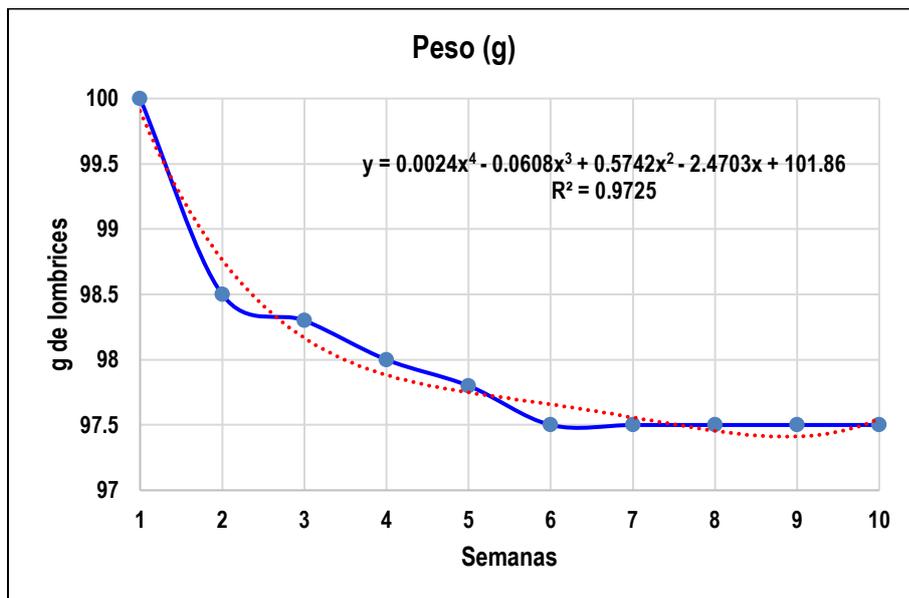
6. Análisis de student



- Estadígrafo de prueba (T): $T = 83.377$
- Valor crítico (t): $t = 1,753$
- Nivel de significancia (p) $p = 2.02 \cdot 10^{-21}$
- $T > t$ y $p \ll \alpha$
- El valor observado de t muestral se localiza en la región de rechazo, entonces, **se rechaza la H_0** , es decir, se acepta **H_1** .
- Por lo tanto, el biodepurador con la especie *Eisenia foetida* si remueve los DBO₅ con una eficiencia mayor al 95%.

4.8. Análisis e interpretación

- *Aclimatación de la lombriz*
- Porcentaje de aclimatación de la lombriz:

Figura 4*Aclimatación de la lombriz*

Nota. El cambiar de un hábitat natural a un hábitat artificial, hace que las lombrices tengan que adaptarse a un nuevo ambiente, se toman un tiempo para aclimatarse.

La **Figura 4**, muestra que, ni bien se inicia la aclimatación, las lombrices comienzan a morir, después de seis semanas, ya no varía el peso de ellas, esto quiere decir que ya se han aclimatado.

La **Figura 4**, muestra la línea de tendencia de, peso de lombrices (g) en aclimatación en función del tiempo (semanas):

$$\text{peso de lombrices (g)} = 0.0024 * (\text{sem})^4 - 0.0608 * (\text{sem})^3 + 0.5742 * (\text{sem})^2 - 2.4703 * (\text{sem}) + 101.86$$

Es una ecuación polinómica de tercer orden, con un coeficiente de Pearson es de 0,9725, lo que significa que demuestra que, el peso de lombrices tiene una relación directa en función al número de semanas de aclimatación.

Se realizaron diferentes correlaciones, con la finalidad de determinar cuál era la que mejor podría representar la relación del peso de la lombriz en función al número de semanas de aclimatación (**Tabla 21**)

Tabla 21

Correlación de los días de aclimatación

Nº	Ecuación polinómica	Orden	Coef de Pearson (R ²)
1	$y = 0.0511x^2 - 0.7764x + 100.31$	2	0,9161
2	$y = -0.0085x^3 + 0.1918x^2 - 1.4254x + 101.04$	3	0,9560
3	$y = \mathbf{0.0024x^4 - 0.0608x^3 + 0.5742x^2 - 2.4703x + 101.86}$	4	0,9725

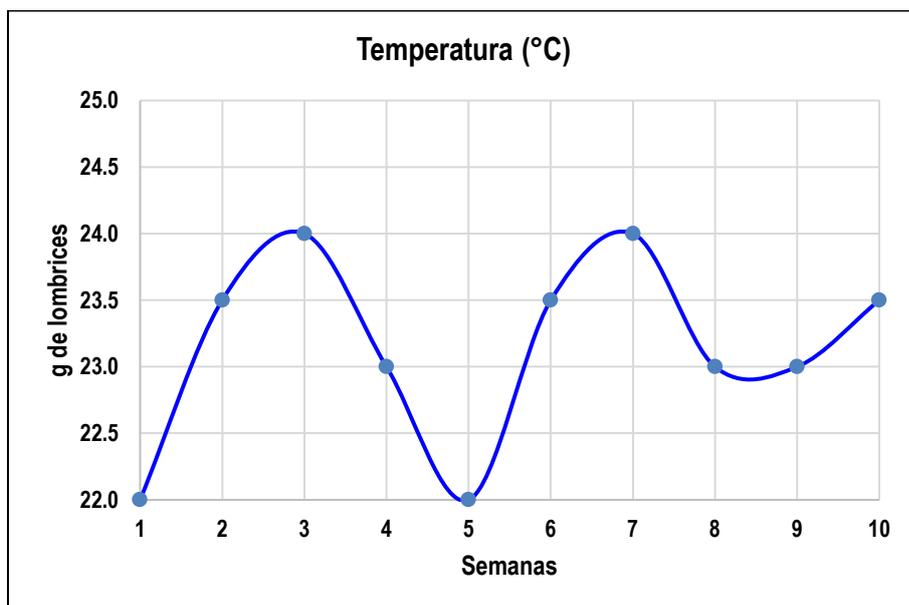
Nota. Se puede apreciar que una ecuación polinómica de orden 4, tiene un mejor coeficiente de correlación, 0,975.

La **Tabla 21**, permite apreciar que, el modelo matemático para representar la aclimatación (g) en función al tiempo (semanas) es del orden 4, bajo las condiciones de trabajo que se consideraron en la presente investigación.

- **Temperatura de aclimatación de la lombriz:**

Figura 5

Temperatura de aclimatación de la lombriz

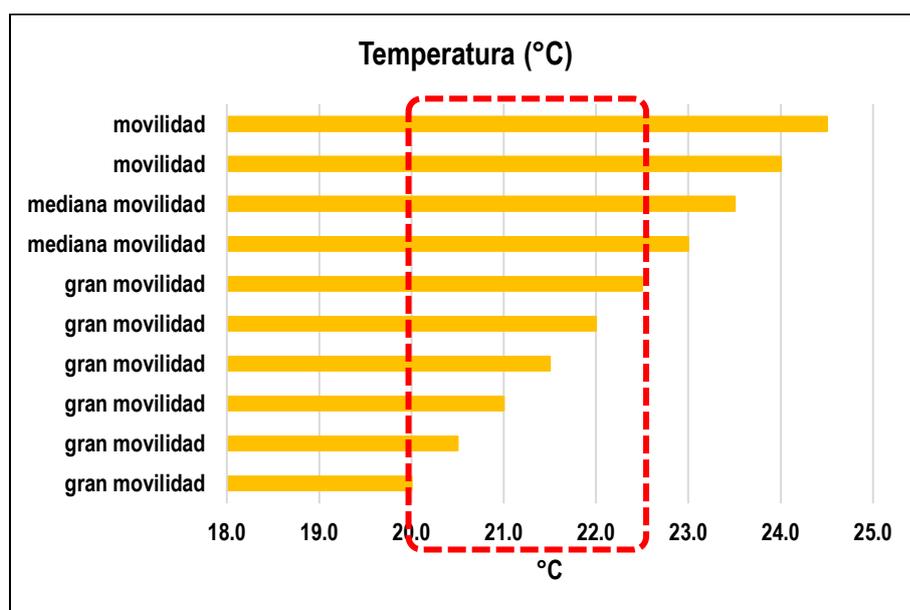


Nota. Muestra el rango de temperatura en el cual se trabajó, para habilitar un hábitat artificial de la lombriz.

- **Temperatura ideal del hábitat de la lombriz:**

Figura 6

Temperatura ideal del hábitat de la lombriz



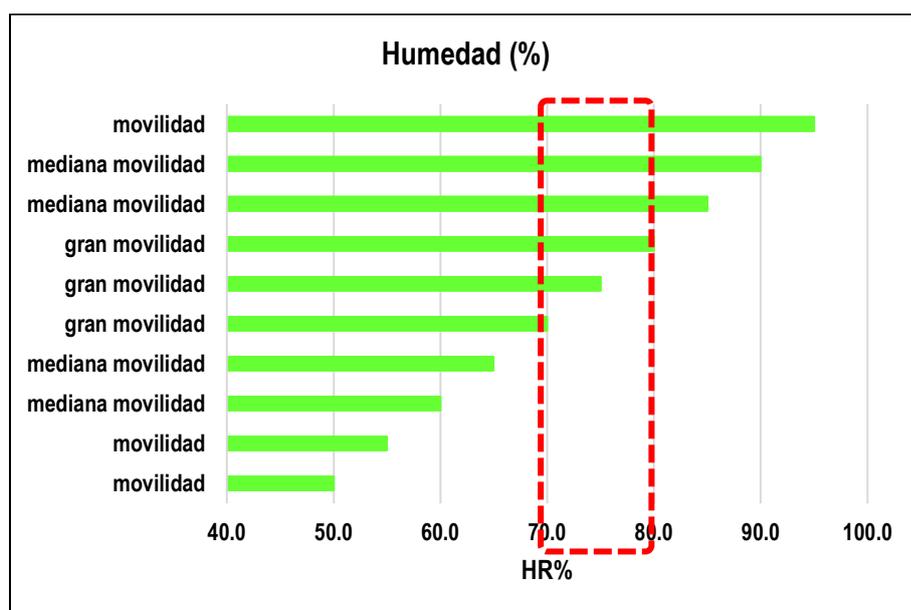
Nota. Muestra el rango de temperatura ideal del hábitat de la lombriz, de acuerdo a la observación ha sido determinado entre 20.0-22.5 °C.

La **Figura 6**, muestra que, por debajo de una temperatura de 20 °C, o, por encima de una temperatura de 22.5 °C, la lombriz, tendrá una movilidad más inquietante, respecto del rango 20.0-22.5 °C.

- **Humedad ideal del hábitat de la lombriz:**

Figura 7

Humedad ideal del hábitat de la lombriz



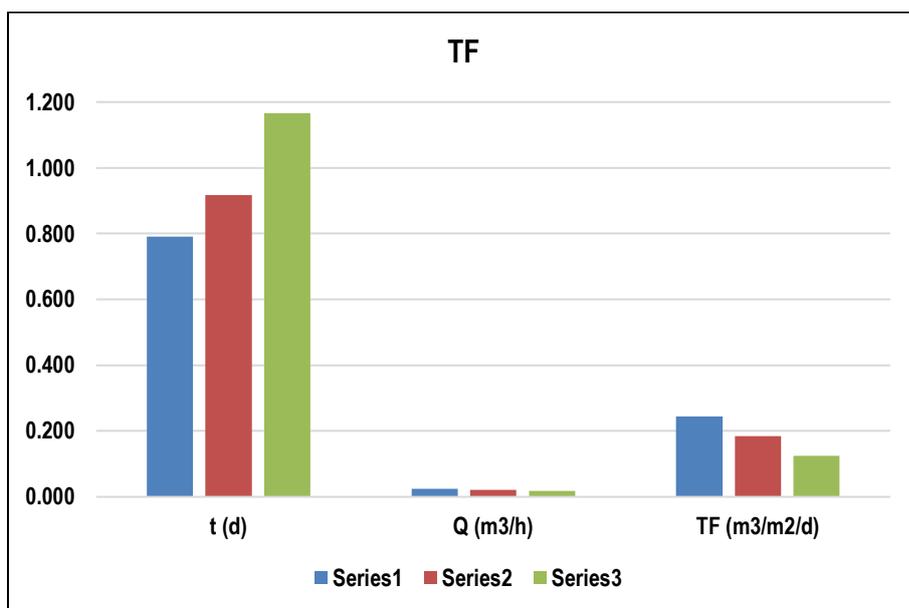
Nota. Muestra el rango de humedad ideal del hábitat de la lombriz, de acuerdo a la observación ha sido determinado entre 70.0-80.0 %.

La **Figura 7**, muestra que, por debajo de una humedad de 70%, o, por encima de una humedad de 80%, la lombriz, tendrá una movilidad más inquietante, respecto del rango 70.0-80.0 %.

- *Tasa de Filtración (TF)*

Figura 8

Tasa de Filtración (TS)

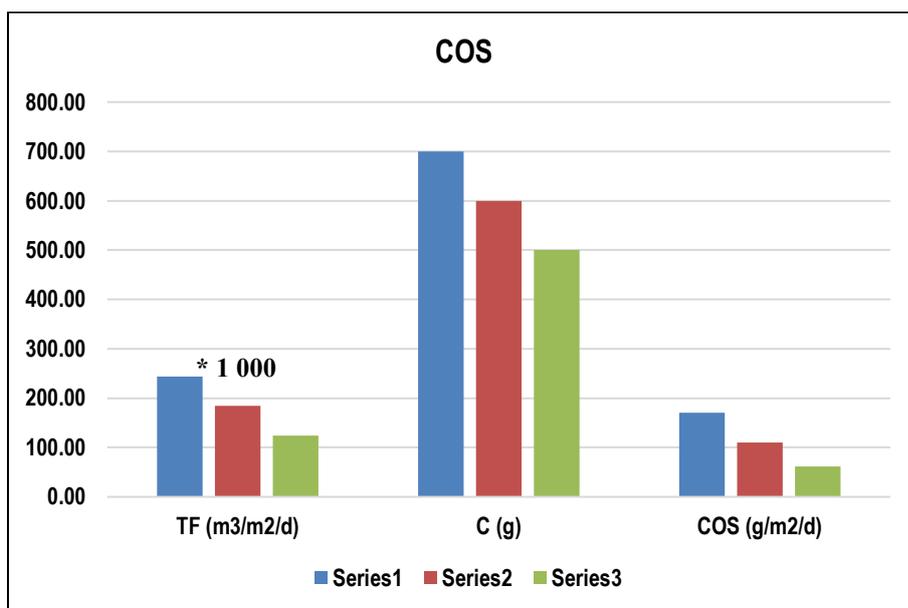


Nota. Muestra que la TF ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$) es inversamente proporcional al tiempo t (d) de residencia del agua residual doméstica.

- *Carga Orgánica Superficial (COS)*

Figura 9

Carga Orgánica Superficial (COS)

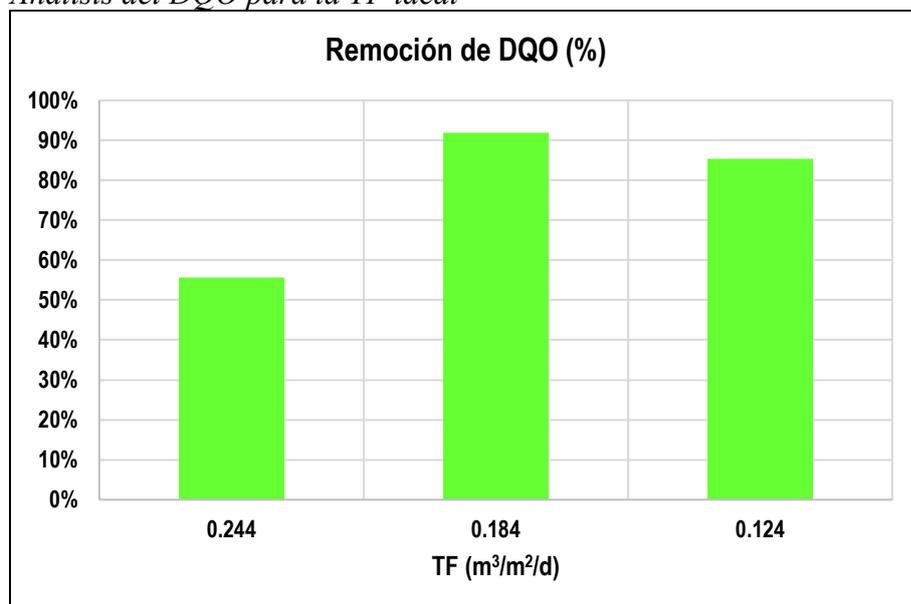


Nota. Muestra que la COS (q/m²/d) es directamente proporcional a la TF (m³/m²/d) del biodepurador.

- *Tasa de Filtración (TF) ideal*

Figura 10

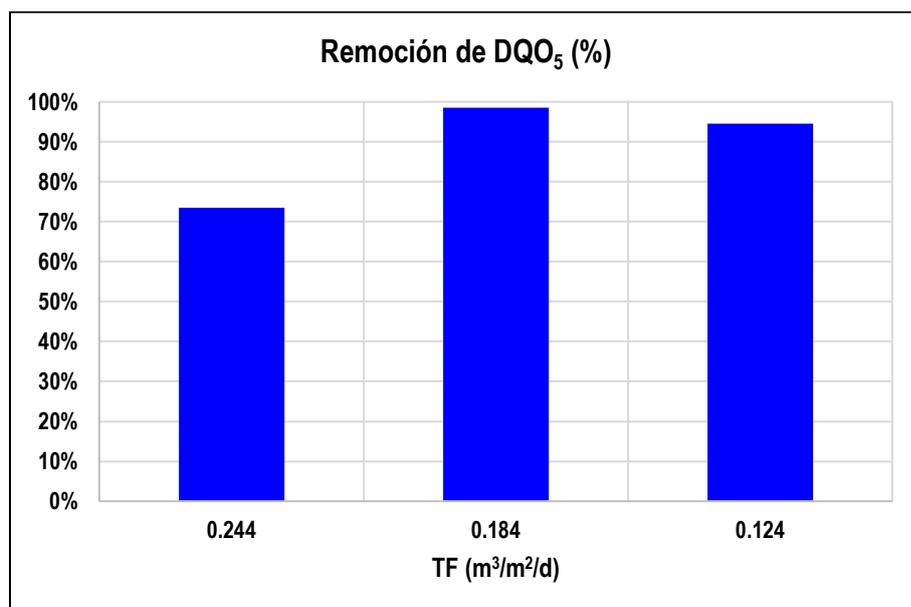
Análisis del DQO para la TF ideal



Nota. Muestra que la mejor remoción de DQO (%) se da cuando la TF es a 0.184 (m³/m²/d).

Figura 11

Análisis del DBO₅ para la TF ideal

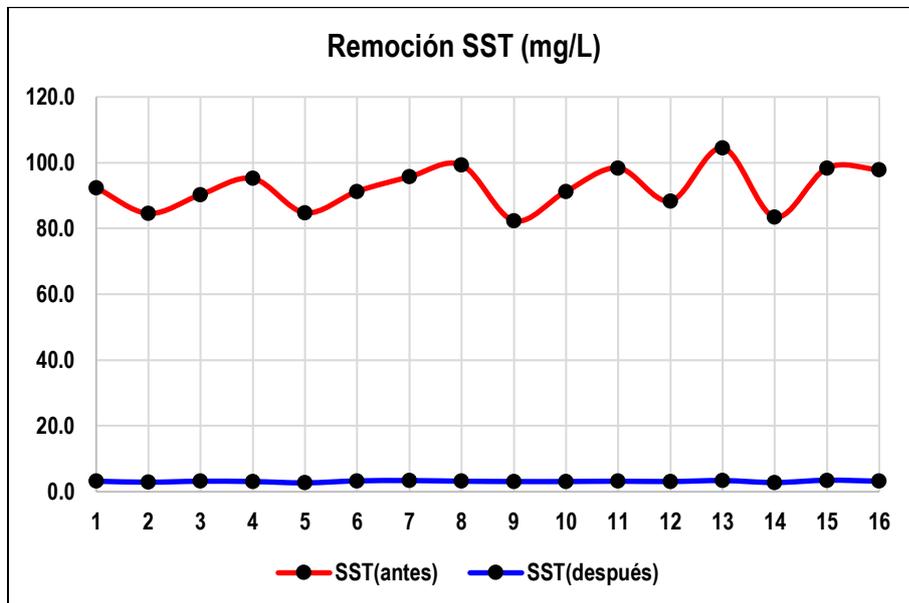


Nota. Muestra que la mejor remoción de DQO₅ (%) se da cuando la TF es a 0.184 (m³/m²/d).

- *Parámetros físicos*

Figura 12

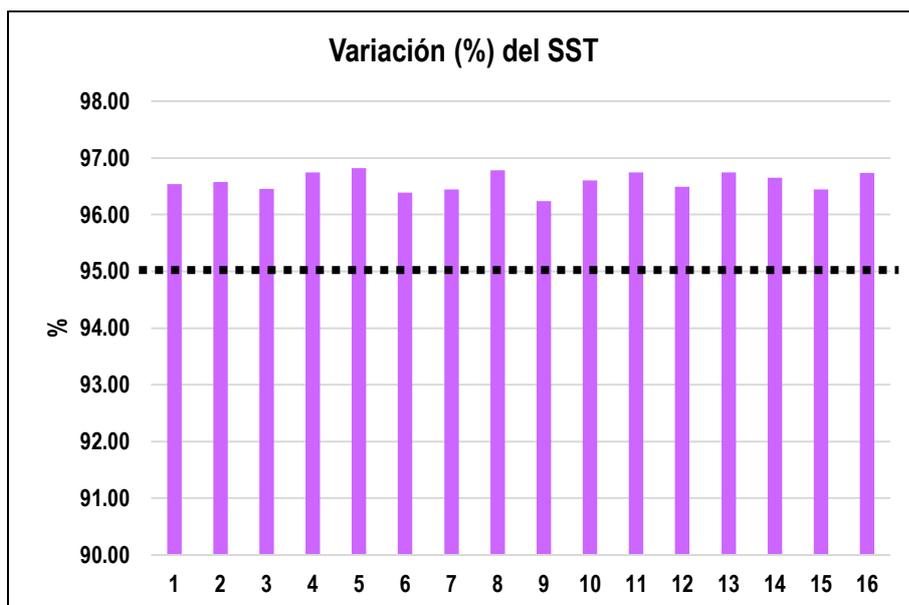
Remoción de SST



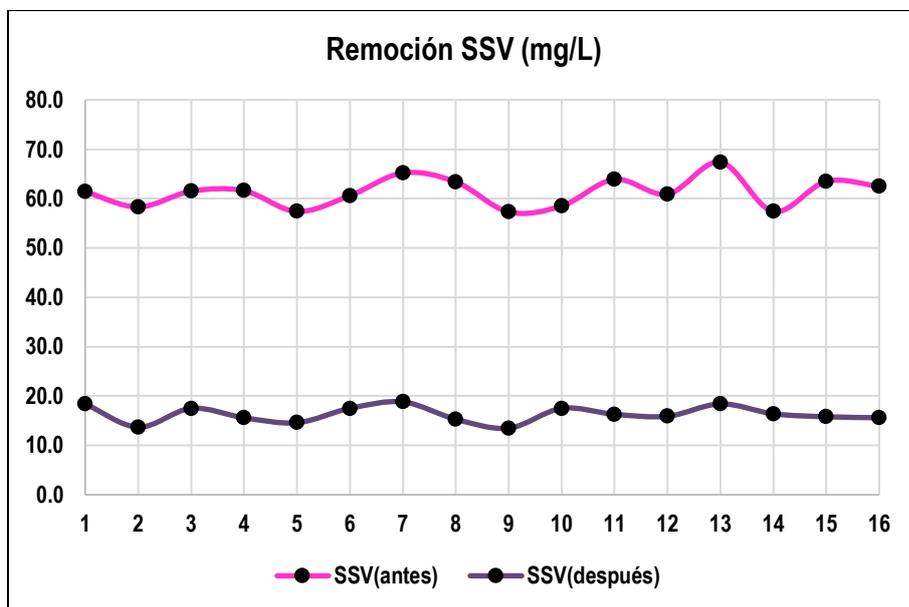
Nota. Muestra el comportamiento de SST, del afluente y del efluente, del biodepurador con la especie *Eisenia foetida*.

Figura 13

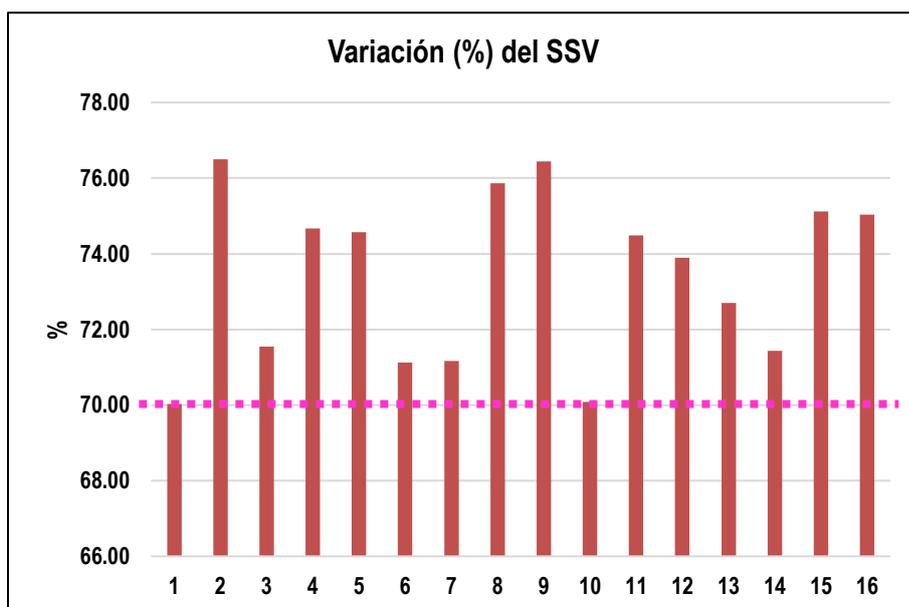
Variación del SST



Nota. Muestra la variación (%) de SST, superior al 95%, debido al biodepurador con la especie *Eisenia foetida*.

Figura 14*Remoción de SSV*

Nota. Muestra el comportamiento de SSV, del afluente y del efluente, del biodepurador con la especie *Eisenia foetida*.

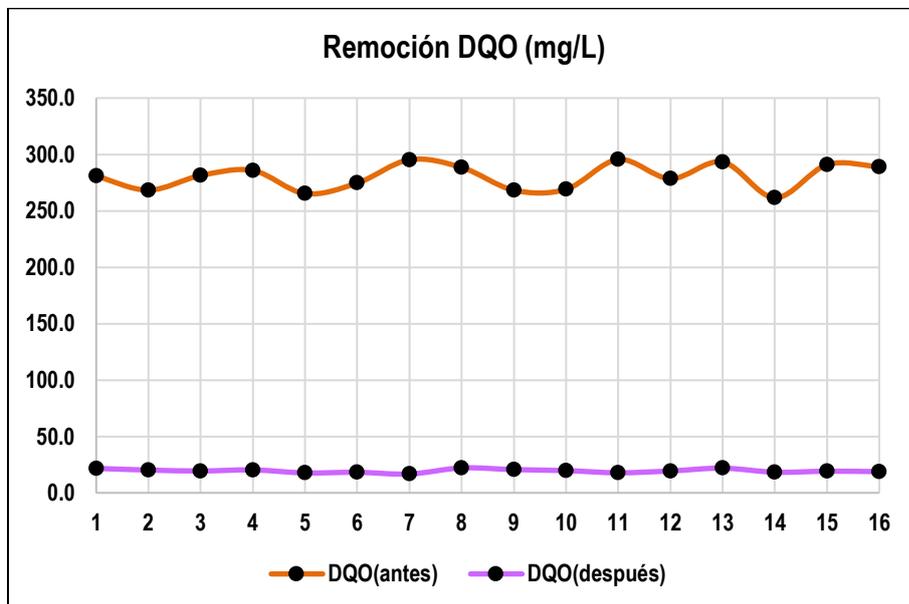
Figura 15*Variación del SSV*

Nota. Muestra la variación (%) de SSD, superior al 95%, debido al biodepurador con la especie *Eisenia foetida*.

- *Parámetros químicos*

Figura 16

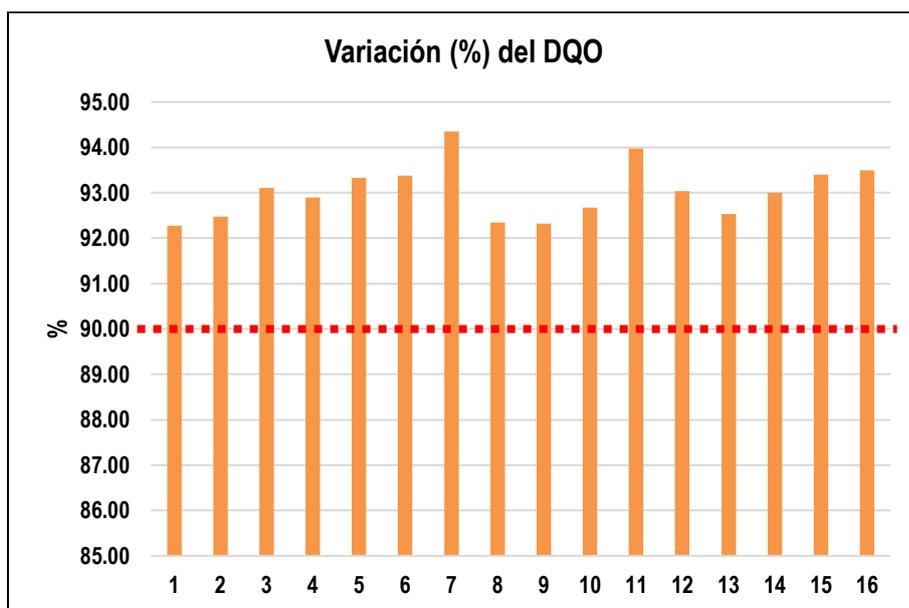
Remoción de DQO



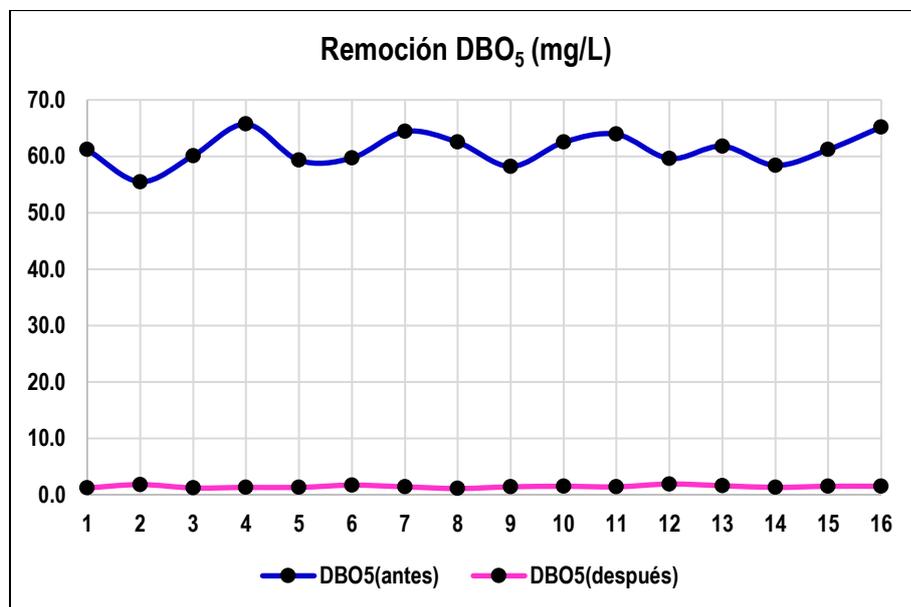
Nota. Muestra el comportamiento de DQO, del afluente y del efluente, del biodepurador con la especie *Eisenia foetida*.

Figura 17

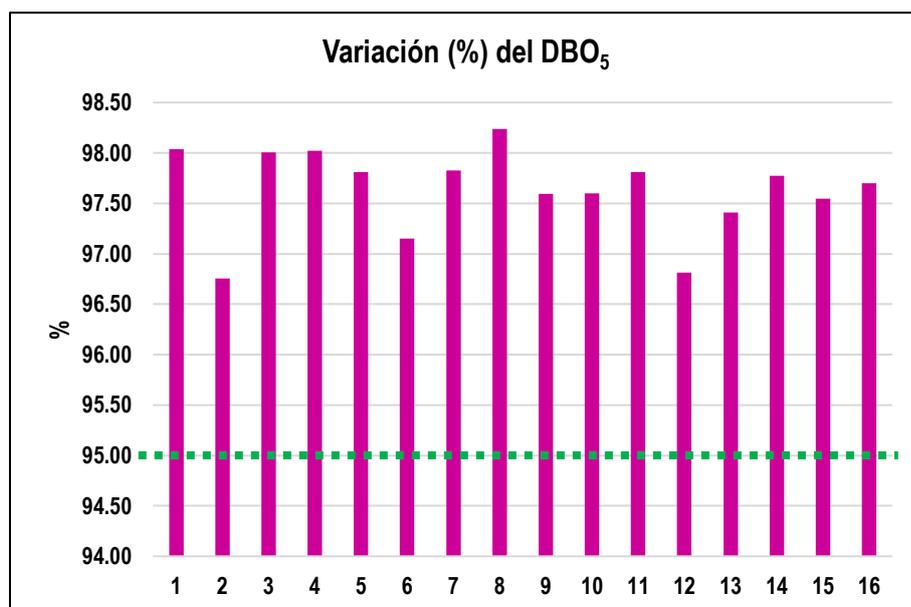
Variación del DQO



Nota. Muestra la variación (%) de DQO, superior al 95%, debido al biodepurador con la especie *Eisenia foetida*.

Figura 18*Remoción de DBO₅*

Nota. Muestra el comportamiento de DBO₅, del afluente y del efluente, del biodepurador con la especie *Eisenia foetida*.

Figura 19*Variación del DBO₅*

Nota. Muestra la variación (%) de DBO₅, superior al 95%, debido al biodepurador con la especie *Eisenia foetida*.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Sastoque et al. (2016) analizaron el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico, para su posterior uso agrícola e industrial, en su investigación denominada: *Diseño, operación y evaluación de PTAR*. En concordancia con Sastoque et al. (2016), la presente investigación titulada: *Eficiencia del Eisenia foetida como biodepurador en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas*, analizó el tratamiento de aguas residuales domésticas, con la finalidad de poder reutilizarlas.

Pérez et al. (2017) se interesaron por la eliminación del estiércol animal sin tratamiento, el cual puede ser perjudicial para el medio ambiente, realizaron una investigación titulada: En su investigación titulada: *Growth and reproductive potential of Eisenia foetida (Sav) on various zoo animal dungs after two methods of pre-composting followed by vermicomposting [Potencial de crecimiento y reproducción de Eisenia foetida (Sav) en varios excrementos de animales de zoológico después de dos métodos de pre-compostaje seguido de vermicompostaje]*. En concordancia con Pérez et al. (2017), la presente investigación, mediante la implementación de un biodepurador con la especie *Eisenia foetida*, permitió disminuir los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos volátiles, mediante el empleo de un biodepurador.

Cardoso et al. (2013) preocupados por los tratamientos convencionales del agua residual que representan un alto costo de inversión y operación en sitios donde la instalación de drenaje, realizaron una investigación denominada: *Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales*. En concordancia con Cardoso et al. (2013), si bien es cierto

que la presente investigación no trato el tema de costos, pero, se investigó sobre los parámetros de diseño para una buena eficiencia del biodepurador, encontrando los valores óptimos de TF y COS.

Paico (2017) interesado en la reutilización de las aguas domésticas (p. 13), realiza una investigación denominada: *Sistema Tohá, para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo*. En concordancia con Paico (2017), emplea el sistema Tohá para instalar un vermifiltro con la especie *Eisenia foetida*, con la finalidad de poder evaluar su eficiencia.

Ramón et al. (2015) investigaron el tratamiento de aguas residuales urbanas (p. 1), motivo por el cual realizaron una investigación, denominada: *Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida* la realizaron en Colombia. En concordancia con Ramón et al. (2015), la presente investigación realizó un diseño de vermifiltro con la lombriz *Eisenia foetida*. La eficiencia de dispositivo construido por Ramón et al. (2015), tuvo una eficiencia del 92.06%, mientras que la eficiencia del biodepurador construido en la presente investigación, es del orden del 90%.

Das et al. (2016) realizaron una investigación con el intento de convertir desechos orgánicos a través del vermicompostajes con *Eisenia foetida*, titulada: *Bioconversion and biodynamics of Eisenia foetida in different organic wastes through microbially enriched vermiconversion technologies* [Bioconversión y biodinámica de *Eisenia foetida* en diferentes desechos orgánicos a través de tecnologías de vermiconversión enriquecidas con microbios]. En concordancia con Das et al. (2016), la presente investigación realizó un lecho orgánico en

el cual estuvo compuesto con residuos orgánicos (verduras y otros), con la especie *Eisenia foetida*, con la finalidad de construir un lecho biodepurador para poder tratar aguas residuales domésticas.

Singh et al. (2015), realizaron una investigación de las lombrices de tierra, para analizar los materiales ingeridos como fuentes de carbono o energía, en su investigación, denominada: *Taxonomic and functional annotation of gut bacterial communities of Eisenia foetida and Perionyx excavates [Anotación taxonómica y funcional de las comunidades bacterianas intestinales de Eisenia foetida y Perionyx excavatus]*. En concordancia con Singh et al. (2015), la presente investigación realizó una investigación con la especie *Eisenia foetida*, con la finalidad de poder utilizar sus propiedades biodepuradoras y emplearlas en la reutilización del agua. La presente investigación, determinó que el tiempo de aclimatación de la especie *Eisenia foetida*, fue de 6 semanas, con una eficiencia del 97,5%.

Jianfeng et al. (2018), en *Reduction of clog matter in constructed wetlands by metabolism of Eisenia foetida: Process and modeling [Reducción de material de obstrucción en humedales artificiales mediante el metabolismo de Eisenia foetida: Proceso y modelado]*. En concordancia con Jianfeng et al. (2018), la presente investigación, mediante el empleo de la especie *Eisenia foetida* en un biodepurador, se logró remover sólidos suspendidos en las aguas residuales domésticas. La eficiencia de dispositivo construido por Jianfeng et al. (2018), tuvo una remoción de material de 0.155 mg/d/día, mientras que la eficiencia del biodepurador construido en la presente investigación, para la remoción de SST es del orden del 95%.

Vizcaíno y Fuentes (2016) realizaron una investigación comparativa entre dos especies para medir el rendimiento en los coliformes, denominada: *Effects of Eisenia foetida and*

Eichhornia crassipes in the removal of organic matter, nutrients and coliforms in domestic wastewater [Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos]. En concordancia con Vizcaíno y Fuentes (2016), la presente investigación realizó la eficiencia de un vermifiltro con la especie *Eisenia foetida*, como material biodepurador. La eficiencia de dispositivo construido por Ramón et al. (2015), tuvo una eficiencia del 69.26%, mientras que la eficiencia del biodepurador construido en la presente investigación, es del orden del 90%.

Gutierrez (2019), interesado en la problemática del deficiente tratamiento del agua residual de cierta comunidad campesina, realiza una investigación: *Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales San José para su reuso con fines agrícolas Chiclayo, 2015*. En concordancia con Gutierrez (2019), la presente investigación, mediante el empleo de la especie *Eisenia foetida* en un biodepurador, también mejoró las condiciones del DBO de las aguas residuales domésticas. La eficiencia de dispositivo construido por Gutierrez (2019), tuvo una eficiencia de DBO de 6.98 mg/L, mientras que la eficiencia del biodepurador construido en la presente investigación, tuvo una eficiencia de DBO de 90%.

Jin, Li y Li (2016), interesados en la ecología, y mejorar el sistema ecológico de los humedales, realizaron un estudio denominado: *Effect of Earthworm Eisenia foetida in Constructed Wetland on Purification of Country Wastewater [Efecto de la lombriz de tierra Eisenia Foetida en humedal construido sobre depuración de aguas residuales del país]*.

En concordancia con Jin, Li y Li (2016), la presente investigación, con la finalidad de preservar el medio ambiente, también se trabajó con la especie *Eisenia foetida*.

VI. CONCLUSIONES

1. Se logró la eficiencia del biodepurador, con los parámetros de diseño: material de PVC con dimensiones: $\Phi = 39.8$ cm de diámetro y $h = 48$ cm de altura.
2. Bajo las condiciones de diseño del biodepurador con la especie *Eisenia foetida* para la remoción de coliformes en aguas residuales domésticas, la óptima Tasa de Filtración (TF) es: **0.244 m³/m²/d**, y la óptima Carga Orgánica Superficial (COS) es: **110.48 g/m²/d**.
3. En el biodepurador construido con la especie *Eisenia foetida*, para tratar la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas, la eficiencia de SST es: **95%** y la eficiencia de SSV es: **70%**.
4. En el biodepurador construido con la especie *Eisenia foetida*, para tratar aguas residuales domésticas, la eficiencia de DQO es: **90%** y la eficiencia de DBO₅ es: **95%**.

VII. RECOMENDACIONES

1. Implementar biodepuradores en edificios multifamiliares, para poder tratar las aguas residuales domésticas, empleando la especie *Eisenia foetida*, con la finalidad de poder reutilizar estas aguas, en riego de parque y jardines.
2. Realizar un modelo matemático en computadora, con la finalidad de poder determinar una nueva Tasa de Filtración (TF) y una nueva Carga Óptima Superficial (COS), para diferentes diámetros (Φ), diferentes alturas (h) de biodepuradores y, diferentes alturas de capas del lecho filtrante.
3. Aprovechar esta eficiencia obtenida de SST y SSV, en la reutilización de aguas residuales domésticas.
4. Aprovecha esta eficiencia de DQO es 90% y la eficiencia de DBO₅, en la reutilización de aguas residuales domésticas.

VIII. REFERENCIAS

- Agrodiario (11 diciembre 2021). *Un proyecto europeo desarrolla un tratamiento de aguas residuales que recupera compuestos de alto valor añadido*.
<https://www.agrodiario.com/texto-diario/mostrar/3336683/proyecto-europeo-desarrolla-tratamiento-aguas-residuales-recupera-compuestos-alto-valor-anadido>
- Aguamarket (15 de noviembre de 2016). *¿Qué es la depuración del agua?*
<http://www.aguamarket.com/sql/temas-interes/044.asp>.
- Aquae (15 de agosto de 2021). *¿cuánta agua gastas en el baño?*. Aquae fundación.
<https://www.fundacionaquae.org/cuanta-agua-gastas-en-el-bano/>
- Arce J., L. F. (2013). *Urbanizaciones sostenibles: descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales*. [Tesis para ingeniero, Universidad Católica del Perú].
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/4568/ARCE_LUIS_AGUAS_RESIDUALES_RESIDENCIALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Banco Mundial [BM]. (2020). *De residuo a recurso*.
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33436/146823SP.pdf>
- Cardoso V., L.; Ramírez C., E. y Garzón Z., M. (2013). *Evaluación de un vermifiltro para el tratamiento de aguas residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
<http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1448/TC-1107.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Comisión Europea (20 de noviembre de 2015). *Conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, respecto a la fabricación de tableros derivados de la madera*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32015D2119>

Das, D.; Bhattacharyya, P.; Ghosh, BC. y Banik (2016). Realizaron una investigación titulada:

Bioconversion and biodynamics of *Eisenia foetida* in different organic wastes through microbially enriched vermiconversion technologies [Bioconversión y biodinámica de *Eisenia foetida* en diferentes desechos orgánicos a través de tecnologías de vermiconversión enriquecidas con microbios]. *E lsevier. Ecological Engineering*. 86, enero de 2016, p. 154-161.

https://www.researchgate.net/publication/284434905_Bioconversion_and_biodynamics_of_Eisenia_foetida_in_different_organic_wastes_through_microbially_enriched_vermiconversion_technologies

El Peruano (12 de junio de 2021). *Población del Perú asciende a 33 millones 35, 304 habitantes*. <https://elperuano.pe/noticia/124424-poblacion-del-peru-asciende-a-33-millones-35304-habitantes>

Esteban, J. (11 de diciembre de 2021). The innovative system of a wastewater treatment plant that they designed in the Netherlands and could provide a solution to the rural world [El innovador sistema de una planta de tratamiento de aguas residuales que diseñaron en Países Bajos y podría dar solución al mundo rural]. *La Serena Online*. <http://www.laserenaonline.cl/2021/12/11/el-innovador-sistema-de-una-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-que-disenaron-en-paises-bajos-y-podria-dar-solucion-al-mundo-rural/>

Fernández R., C. y Barrera E., G. (2013). *Comparación de técnicas para la extracción de bacterias coliformes del sedimento del lago de Xochimilco, México*. Elsevier Doyma. Revista argentina de Microbiología. 2013, 45(3): 180-184. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0325754113700221?token=08D623C9006BF082A82FBEE7A772E9A3F887FE6D8D42850496682F713054755654E5B8C446B>

[67DE57AE23971D562FA94&originRegion=us-east-1&originCreation=20220103045219](https://www.loscronistas.mx/global-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-industriales-mercado-analisis-y-evaluacion-2022-2031/)

Forrest, J. (13 de diciembre 2021). Global Industrial Wastewater Treatment Plants Market Precise Scenario Covering Growth Trends, Opportunities and Forecast During 2021-2031 [Global Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales Mercado Escenario preciso que cubre tendencias, oportunidades y pronóstico de crecimiento durante 2021-2031]. *Los Cronistas*. <https://www.loscronistas.mx/global-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-industriales-mercado-analisis-y-evaluacion-2022-2031/>

Gutierrez Q., A. F. (2019). *Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales San José para su reuso con fines agrícolas Chiclayo, 2015*. [Tesis para ingeniero, Universidad Santiago Antúnez de Mayolo]. <https://1library.co/document/z3n1jm7q-mejoramiento-planta-tratamiento-residuales-jose-reuso-agricolas-chiclayo.html>

Ingeniería y Gestión ambiental (18 de enero de 2019). *Biofiltración para el control de olores y amoníaco*. <https://www.particulas.cl/biofiltros/>

Ingenieros sin Fronteras [ISF]. (15 de junio de 2020). *Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas*. [http://megadapt.weebly.com/uploads/8/8/1/9/88193908/tri%CC%81ptico._tratamiento de aguas residuales domesticas.pdf](http://megadapt.weebly.com/uploads/8/8/1/9/88193908/tri%CC%81ptico._tratamiento_de_aguas_residuales_domesticas.pdf)

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2015). *Compendio Estadístico del Perú*. Publicación oficial del Instituto Nacional de Estadística e Informática. Editado por el INEI.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2020). *Anuario de estadísticas ambientales*. Publicación oficial del Instituto Nacional de Estadística e Informática. Editado por el INEI.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/1ibro.pdf

Instituto Nacional del Cáncer [INC] (13 de agosto de 2021). *El colon*.

<https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/colon>

Jianfeng Y.; Zuxin X., Hao C., Liang W. y Gaboury B. (2018). *Reduction of clog matter in constructed wetlands by metabolism of Eisenia foetida: Process and modeling [Reducción de material de obstrucción en humedales artificiales mediante el metabolismo de Eisenia foetida: Proceso y modelado]*. Elsevier. *Environmental pollution*. 238, julio de 2018, p. 803-811.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117336023?via%3Dihub>

Jin Q.; Li, W. y Li, X. (2016). *Effect of Earthworm Eisenia foetida in Constructed Wetland on Purification of Country Wastewater [Efecto de la lombriz de tierra Eisenia Foetida en humedal construido sobre depuración de aguas residuales del país]*. Elsevier. *Procedia Engineering*. 154, 2016, pp. 406-411.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581631894X>

Larios M., J. F.; González T., C. y Morales O., Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y hacer*, 2(2), segundo semestre 2015.

<https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>

Monitor de Oriente (MEMO, 12 de diciembre 2021). *Three large wastewater treatment plants start up in Gaza [Se ponen en marcha tres grandes plantas de tratamiento de aguas residuales en Gaza]*. <https://www.monitordeoriente.com/2021/12/12-se-ponen-en-marcha-tres-grandes-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-gaza/>

- Organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental [OEFA]. (20 de setiembre de 2019). *La fiscalización ambiental vinculada a las aguas residuales*. <http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2016/10/1.-Fiscalizaci%C3%B3n-ambiental-vinculada-a-las-aguas-residuales.pdf>
- Organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental [OEFA]. (13 de febrero de 2020) *¿Cómo se clasifican las aguas residuales?* https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Paico R., D. A. (2017). *Sistema Tohá, para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo*. [Tesis para ingeniero, Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/10890/paico_rd.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Parra P., I. y Chiang R., G. (2014). Integrated model of biopurification system for home sewage. A proposal for peri-urban communities from south center of Chile [Modelo integrado de un sistema de biodepuración de origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades perurbanas del centro de Chile. *Revista Gestión y Ambiente*. 16(3): 39-51. https://www.researchgate.net/publication/259706865_Integrated_model_of_biopurification_system_for_home_sewage_A_proposal_for_peri-urban_communities_from_south_center_of_Chile
- Parra, S. (14 de agosto de 2021). *¿Cuántas clases de caca puede evacuar un ser humano?* <https://www.xatakaciencia.com/salud/cuantas-clases-de-caca-puede-evacuar-un-ser-humano-la-escala-de-heces-de-bristol>
- Pérez G., E. A.; Lagunes Z., J.; Corona H., J. y Barajas A., M. (2017). *Growth and reproductive potential of Eisenia foetida (Sav) on various zoo animal dungs after two methods of pre-composting followed by vermicomposting [Potencial de crecimiento y reproducción de Eisenia foetida (Sav) en varios excrementos de animales de zoológico*

después de dos métodos de pre-compostaje seguido de vermicompostaje]. Elsevier. Waste Management. 64, junio de 2017, pp. 67-68.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17301836?via%3Dihub>

Pixa (13 de agosto de 2021). *El colon de un adulto puede retener entre 8 y 10 kilos de restos*.
<https://www.europapress.es/otr-press/cronicas/noticia-colon-adulto-puede-retener-10-kilos-restos-20160330212440.html>

Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP, 2018). *La situación de las aguas residuales en Lima*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
<https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/la-situacion-de-las-aguas-residuales-en-lima/>

Ramón, J. A.; León, J. A. y Castillo, N (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. *Revista Mutis* 5(1) junio. Universidad de Bogotá.
[file:///C:/Users/user/Downloads/1018-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2705-1-10-20150805%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/1018-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2705-1-10-20150805%20(1).pdf)

Sastoque S., J. A.; Bedoya V., L. M. y Ramos M., M. L. (2016). *Diseño, operación y evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales*. [Pasantía internacional UNAM - México D.F. 2015].
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17085/DISE%c3%91O%2c%20OPERACI%c3%93N%20Y%20EVALUACI%c3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Segura E., I. S. (2017). *Cinética de decaimiento de coliformes fecales en un humedal de flujo subsuperficial vertical*. [Tesis de maestría, Instituto Mexicano de Tecnología del agua].

http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1606/T_063.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Singh, Singh, Tiwari, Kumar, Singh, Singh, Prasanna, Saxena y Nain (2015). Taxonomic and functional annotation of gut bacterial communities of *Eisenia foetida* and *Perionyx excavatus* [Anotación taxonómica y funcional de las comunidades bacterianas intestinales de *Eisenia foetida* y *Perionyx excavatus*]. *Elsevier. Microbiological Research*. 175, junio de 2015, pp. 48-56.

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0944501315000373?token=50BAFB2412BC09C2922FDBDD709D29B5D9FAE0E4CC0FF883FB88CF773EC7AC667F1BD33BFB365093DE17555F0390EBA7&originRegion=us-east-1&originCreation=20220102211535>

Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA, 2015). *Tratamiento de aguas residuales*. Publicación en línea del Sistema Nacional de Información Ambiental, del Ministerio del Ambiente. Editado por el Ministerio del Ambiente.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2016). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de las entidades prestadoras de servicio de saneamiento. https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/1.-Sunass-GIZ-2016.-Diagn%C3%B3stico-de-las-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-%C3%A1mbito-de-operaci%C3%B3n-de-las-Entidades-Prestadoras-de-Servicios-de-Saneamiento.-2a.ed_.pdf

Vizcaíno M., L. y Fuentes M., N. (2016). Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crasipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Revista Scielo*, 19 N° 1, Bogotá, enero. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/225>

IX. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Tabla 22

Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Dimensiones
¿Es eficiente la <i>Eisenia foetida</i> como biodepurador en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas?	Determinar la eficiencia del <i>Eisenia foetida</i> como biodepurador en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas	La eficiencia del <i>Eisenia foetida</i> como biodepurador en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas	Variable independiente: <i>Eisenia foetida</i> como biodepurador.	Parámetros de diseño Parámetros físicos Parámetros químicos
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específica	Variables	Indicadores
¿Cuáles son los parámetros de diseño del biodepurador con la especie <i>Eisenia foetida</i> que permita la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas?	Determinar los parámetros de diseño del biodepurador con la especie <i>Eisenia foetida</i> que permita la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas	Se determina los parámetros de diseño del biodepurador con la especie <i>Eisenia foetida</i> que permite la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas	Variable dependiente: coliformes fecales en aguas residuales domésticas.	Tasa de Filtración (TF)
¿Cuál es el efecto del biodepurador con la especie <i>Eisenia foetida</i> de los parámetros físicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas?	Calcular el efecto del biodepurador con la especie <i>Eisenia foetida</i> de los parámetros físicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas	Se calcula el efecto del biodepurador con la especie <i>Eisenia foetida</i> de los parámetros físicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas		Carga Orgánica Superficial (COS)
¿Cuál es el efecto del biodepurador con la especie <i>Eisenia foetida</i> de los parámetros químicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas?	Calcular el efecto del biodepurador con la especie <i>Eisenia foetida</i> de los parámetros químicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas	Se calcula el efecto del biodepurador con la especie <i>Eisenia foetida</i> de los parámetros químicos en la remoción de coliformes fecales en aguas residuales domésticas		Cantidad de SST Cantidad de SSV Cantidad de DQO Cantidad de DBO ₅

Anexo B. Galería de fotos

Figura 20
Eisenia foetida



Figura 21
Hábitat del Eisenia foetida



Figura 22
Capa de piedra caliza



Figura 23
Capa de piedra pómez



Figura 24
Capa de vermicomposta



Figura 25
Capa de residuos orgánicos con Eisenia foetida



Figura 26
Carga del tanque receptor



Figura 27
Prueba del TF



Figura 28
Agitación del tanque receptor



Figura 29
Tapa del tanque receptor



Figura 30
Llenado de piedra caliza



Figura 31
Llenado de vermicomposta



Figura 32
Toma de muestra



Figura 33
Volumen de la muestra



Figura 34
Análisis comparativo 1



Figura 35
Análisis comparativo 2

