

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Evaluación de la Eficiencia de un Vermifiltro con la especie
Eisenia Foetida para el tratamiento de Aguas Residuales de uso
doméstico**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Flor Angela Meza Pinedo

Asesor:

Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado

Tarapoto, junio del 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Yo, Víctor Hugo Muñoz Delgado, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN VERMIFILTRO CON LA ESPECIE *EISENIA FOETIDA* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE USO DOMÉSTICO”** constituye la memoria que presenta la Bachiller Flor Angela Meza Pinedo para obtener el título de Profesional de Ingeniería Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 27 días del mes de Junio del año 2022.



Firma del Asesor

Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a..17..... día(s) del mes de.....junio.....del año 2022.. siendo las.....10:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo....., el (la) secretario(a): Mtra. Katterin Jina Luz Pinedo Gómez..... y los demás miembros:

..... Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado.....
 y el (la) asesor(a)
 con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:..... Evaluación de la Eficiencia de un Vermifiltro con la especie Eisenia Foetida para el tratamiento de aguas Residuales de uso doméstico.....

..... del(los) bachiller(es): a) Flor Angela Meza Pinedo.....
 b).....
 c).....

..... conducente a la obtención del título profesional de:
 Ingeniero Ambiental.....
 (Denominación del Título Profesional).....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Flor Angela Meza Pinedo.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	17	B+	Muy bueno	Sobresaliente

Bachiller -(b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado				

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente/a


 Asesor/a



 Secretario/a

 Miembro

 Miembro

 Bachiller (a)

 Bachiller (b)

 Bachiller (c)

(*) Tabla de Calificación

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	20	A+	Con nominación de Excelente	Excelencia
	19	A		
	18	A-	Con nominación de Muy Bueno	Sobresaliente
	17	B+		
	16	B	Con nominación de Bueno	Muy Bueno
	15	B-		
	14	C	Con nominación de Aceptable	Bueno
DESAPROBADO	Menos de 14	D	Con nominación de Deficiente	Insuficiente

RESUMEN

El vermifiltro con la especie *Eisenia Foetida* para tratar aguas residuales de uso doméstico tuvo un caudal de 217 L/d, una Carga Hidráulica (CH) de 150 ml/m².min y Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 5.7 días. Se analizaron muestras de agua residual sin tratamiento y con tratamiento, en tres fechas, cada 7 días y se obtuvieron los siguientes resultados: Sólidos Suspendidos Totales (SST) de 1708 mg/L a 32 mg/L en la primera fecha, 321 mg/L a 34 mg/L en la segunda y 154 mg/L a 2.5 mg/L en la tercera fecha. Nitrógeno Total (NT) de 13.05 mg/L a 0.32 mg/L, de 3.04 mg/L a 0.19 mg/L y 2.75 mg/L a 0.09 mg/L. Fósforo Total (PT) de 1 mg/L a 0.568 mg/L, de 1 mg/L a 0.23 mg/L y 0.302 mg/L a 0.092 mg/L. Aceites y Grasas (AyG) de 72.5 mg/L a 2 mg/L, de 4.3 mg/L a 2 mg/L y 19.8 mg/L a 2 mg/L. Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 3210 mg/L a 201 mg/L, de 1110 mg/L a 101 mg/L y 434 mg/L a 84 mg/L. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 1690 mg/L a 112 mg/L, de 572 mg/L a 48 mg/L y 230 mg/L a 40 mg/L respectivamente. Coliformes Totales (CT) de 7x10⁷ NMP/100 mL a 26x10⁵ NMP/100 mL, 11x10⁷ NMP/100 mL a 54 x10⁴ NMP/100 mL y 47 x10⁶ NMP/100 mL a 35 x10³ NMP/100 mL. Se concluye que el vermifiltro con la especie *Eisenia Foetida* es eficiente para tratar aguas residuales de uso doméstico

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

ABSTARCT

The vermifilter with the species Eisenia Foetida to treat wastewater for domestic use had a flow rate of 217 L/d, a Hydraulic Head (CH) of 150 ml/m².min and a Hydraulic Retention Time (HRT) of 5.7 days. Wastewater samples without treatment and with treatment were analyzed on three dates, every 7 days, and the following results were obtained: Total Suspended Solids (TSS) from 1708 mg/L to 32 mg/L on the first date, 321 mg/L to 34 mg/L on the second and 154 mg/L to 2.5 mg/L on the third date. Total Nitrogen (NT) from 13.05 mg/L to 0.32 mg/L, from 3.04 mg/L to 0.19 mg/L and 2.75 mg/L to 0.09 mg/L. Total Phosphorus (PT) from 1 mg/L to 0.568 mg/L, from 1 mg/L to 0.23 mg/L and 0.302 mg/L to 0.092 mg/L. Oils and Fats (AyG) from 72.5 mg/L to 2 mg/L, from 4.3 mg/L to 2 mg/L and 19.8 mg/L to 2 mg/L. Chemical Oxygen Demand (COD) from 3210 mg/L to 201 mg/L, from 1110 mg/L to 101 mg/L and 434 mg/L to 84 mg/L. Biochemical Oxygen Demand (BOD) from 1690 mg/L to 112 mg/L, from 572 mg/L to 48 mg/L and 230 mg/L to 40 mg/L respectively. Total Coliforms (TC) from 7x10⁷ NMP/100 mL to 26x10⁵ NMP/100 mL, 11x10⁷ NMP/100 mL to 54 x10⁴ NMP/100 mL and 47 x10⁶ NMP/100 mL to 35 x10³ NMP/100 mL. It is concluded that the vermifilter with the Eisenia Foetida species is efficient to treat wastewater for domestic use.

Keyword: efficiency, treatment, vermifilter, wastewater for domestic use.

INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

es reciente, y posteriormente posee olor desagradable y colores oscuros amarillentos, al iniciar su estado de descomposición (López, 2019).

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

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

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

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

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

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

Generalidades del muestreo

El presente trabajo de investigación se encamina en un diseño preexperimental del tipo preprueba/posprueba con un solo grupo, por lo cual se tomaron 2 muestras, 1 muestra del agua sin tratamiento y 1 muestra del agua residual con tratamiento como lo realizó Gallardo

(2017). Este procedimiento se llevó a cabo en 3 diferentes fechas, cada una después de un periodo de 7 días como lo realizó Chávez (2017), Adugna et al. (2019) y Cáceres, Calisaya y Bedoya (2018). Para el muestreo se empleó las especificaciones del Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

En cuanto a parámetros de calidad se emplearon los parámetros sujetos al monitoreo de los efluentes de las PTAR los indicados en el D.S. N° 003- 2010-MINAM: Temperatura, Potencial de Hidrógeno, Sólidos Suspendidos Totales, como lo hicieron Cáceres, Calisaya y Bedoya (2019), Aceites y Grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno como lo menciona Pérez (2018), Fósforo Total, Nitrógeno Total, Coliformes Totales.

Diseño y dimensionamiento del vermifiltro

El diseño del vermifiltro se basó en el postulado de Guzmán (2004) y Hernández (2005), citado en Saboya (2018), donde mencionaron que 1m² de vermifiltro puede tratar 1000L/d (1m³), y que para tratar las aguas residuales de 5 personas se necesita solo 1m² de vermifiltro. Además cabe mencionar que existió un balance de masas, donde se tuvo en cuenta: la cantidad de lombrices por unidad de área, cantidad de materia orgánica a consumir, la carga hidráulica (CH) para evitar muerte las lombrices, y el tiempo de retención hidráulica (TRH).

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

Granulometría de partículas de los materiales filtrantes

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

En un vermifiltro se pueden usar recursos de desechos orgánicos, como lo menciona Adugna et al. (2019), por lo cual se empleó compost semimaduro y fibra de coco; este último posee ciertas características beneficiosas para el proceso, como capacidad de retener líquidos, brinda un equilibrio deseado entre la retención del agua y a la vez una buena aireación; además de sus propiedades fungicidas (Mantuano y Pincay, 2017).

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

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

$$h_{estrato} = \frac{\% zona * h}{100\%}$$

Ecuación (1)

Donde

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

De esta forma se obtuvo una zona orgánica con altura de 0.66m y una zona inorgánica con 0.44m. Cabe señalar que en la primera zona hubo dos componentes diferentes: compost semimaduro + humus de lombriz, con una altura de 33cm; de la misma manera la fibra de coco, tuvo una altura de 33cm (Pérez, 2018). La segunda zona tuvo tres medios filtrantes: arena fina con altura de 11cm, grava con altura de 11cm y piedras enteras con una altura de 22cm. En total el vermifiltro tuvo una altura de 150cm y a continuación en la figura 1, se muestran los medios filtrantes.

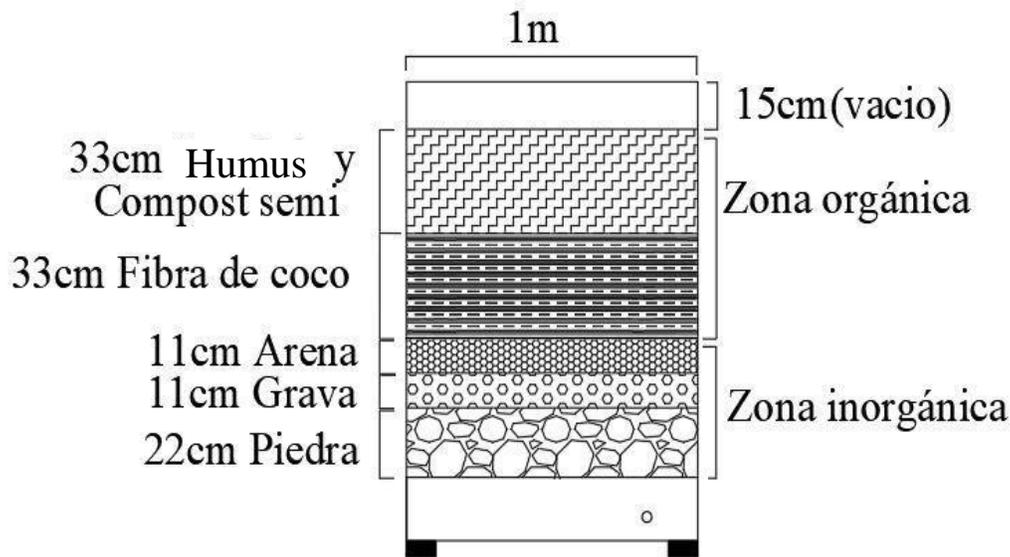


Figura 1. Diseño y dimensiones del vermifiltro.

Determinación del número de lombrices

Se determinó en base a la relación de 10 kg de lombrices por 1m³ de suelo (Komarowsky, 2021 citado en Manyuchi et al., 2018); aproximadamente entre 15000-20000 lombrices indica Arora y Saraswat (2021). A continuación se mostrarán las ecuaciones con las que se determinó el número de lombrices para el vermifiltro, en primer lugar se encontró el volumen, que fue $v=0.66m^3$; posteriormente se empleó otra ecuación, para determinar la cantidad de lombrices, que fue 6.6 Kg. lo que equivale a 6 600 lombrices, puesto que en 1kg de lombrices adultas generalmente se encuentran 1000 lombrices.

$$v = a * b * h$$

Ecuación (1)

Donde:

v: volumen de la capa activa

a: largo del vermifiltro

b: ancho del vermifiltro

h: alto del vermifiltro

$$KgLomb = \frac{v \cdot 10Kg}{1m^3}$$

Ecuación (2)

Donde:

v: volumen de la capa activa

Carga Hidráulica (CH)

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

$$CH = Q_{AR}/A$$

Ecuación (3)

Donde

CH: carga hidráulica

Q_{AR} : caudal del agua residual

A: área superficial del vermifiltro

Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)

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

$$TRH = \frac{V_v}{Q}$$

Ecuación (4)

Donde

TRH: tiempo de retención hidráulica

V_v : volumen total del vermifiltro

Q: caudal del agua residual

Eficiencia de remoción del vermifiltro

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

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

Ecuación (5)

Donde

Ci: concentración inicial

Cf: concentración final

Adaptación de las lombrices

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

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

Funcionamiento del vermifiltro

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

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

RESULTADOS

Parámetros físicos

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

municipales, puesto que indica temperatura menor a 35°C y un máximo de 150mg/L de SST. Los resultados se observan en la figura 3.

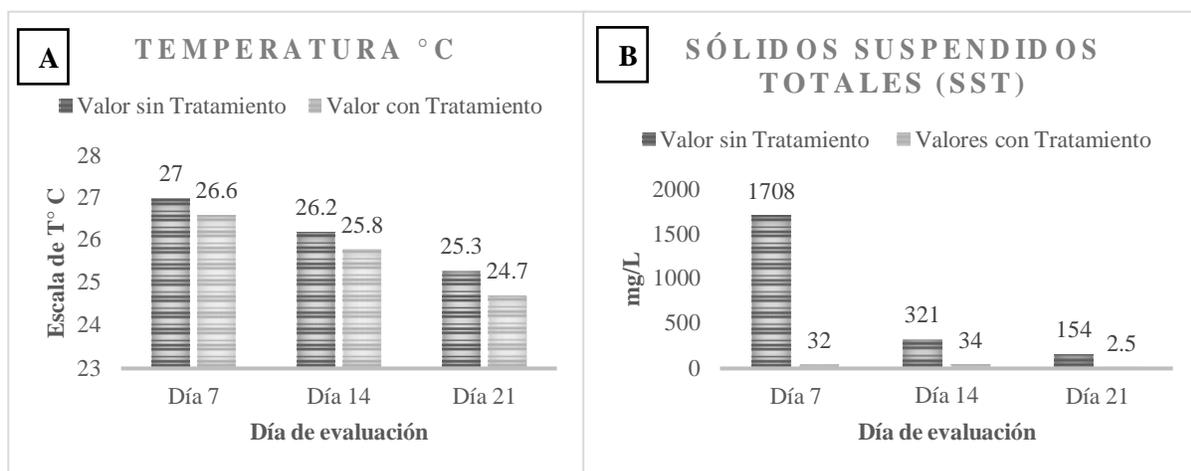


Figura 3. Temperatura (3A) Sólidos Suspendidos Totales (3B).

Parámetros químicos

En cuanto a Potencial de Hidrógeno (pH) hubo un aumento en las dos primeras fechas con tratamiento, sin embargo en la fecha 21 hubo un descenso. El Nitrógeno Total tuvo una disminución en las tres muestras con tratamiento. El pH se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Los resultados se observan en la figura 4.

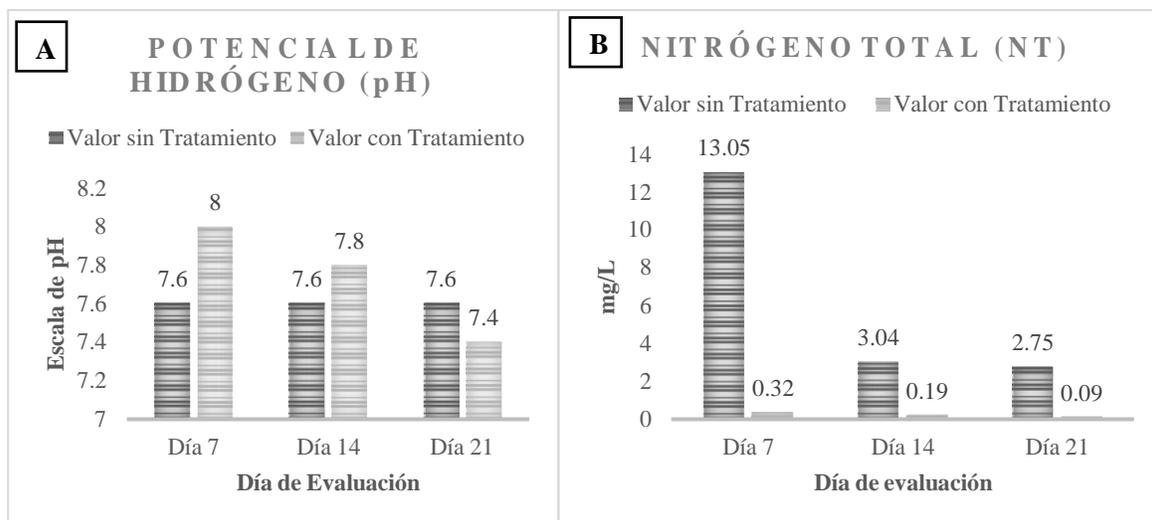


Figura 4. Potencial de Hidrógeno (4A) Nitrógeno Total (4B).

En cuanto a Fósforo Total podemos observar una gran reducción, con el tratamiento; lo mismo ocurrió con Aceites y Grasas, este último parámetro cumple con lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Con la DBO también existió una disminución considerable y finalmente la DBO y DQO en sus tres fechas con tratamiento mostraron reducciones; sin embargo comparando con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, en la primera fecha no cumplieron por un exceso de 12mg/L y 1mg/L respectivamente, pero en las fechas posteriores se logró reducir y cumplir con el LMP. A continuación la figura 5.

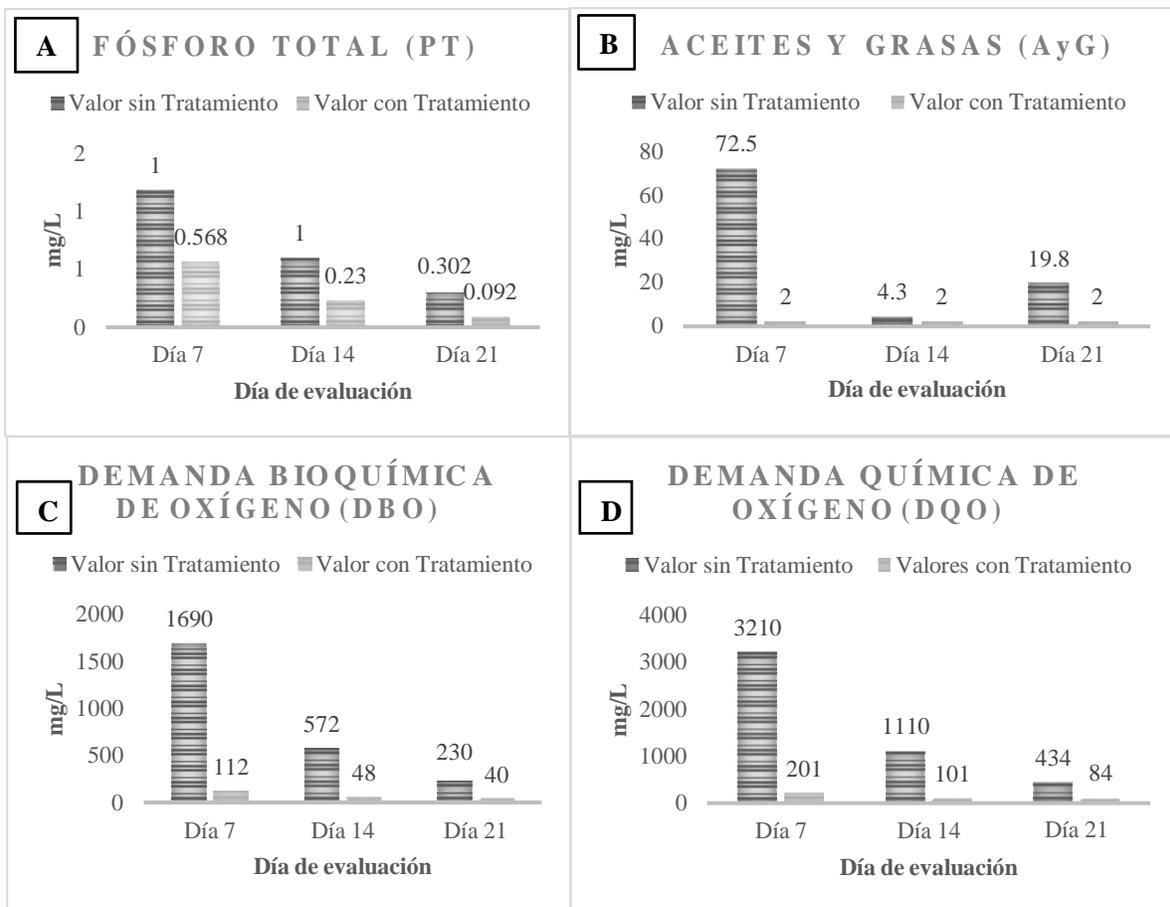


Figura 5. Fósforo Total (5A) Aceites y Grasas (5B) Demanda Química de Oxígeno (5C) Demanda Bioquímica de Oxígeno (5D).

Parámetro microbiológico

En las tres fechas se obtuvieron grandes reducciones con el tratamiento; sin embargo comparando con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, en las tres fechas no se llegó a cumplir con lo establecido en la norma, pues indica un LMP de 10 000NMP/100ml.

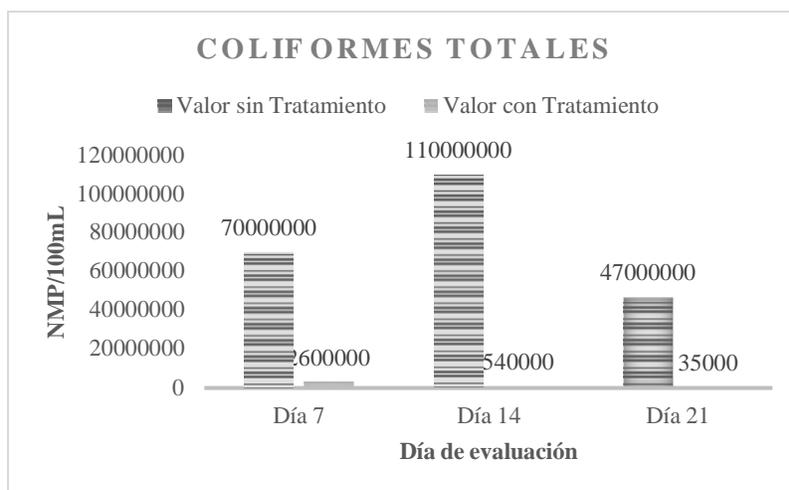


Figura 6. Resultados del parámetro Coliformes Totales.

Eficiencia de remoción del vermifiltro

Los resultados en cuanto a la eficiencia de remoción arrojan mayores eficiencias en los parámetros Coliformes Totales, NT y SST, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.

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

DISCUSIONES

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

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

En cuanto a pH se obtuvieron reducciones en la tercera fecha de 7.6 a 7.4, mientras que en la primera y segunda hubo un ascenso de 7.6 a 8 y de 7.6 a 7,8 respectivamente. Sin embargo en todas las fechas se cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, donde indica valores entre 6.5 y 8.5. De acuerdo a Rodale (1971), los residuos sólidos y líquidos son succionados por la boca de la lombriz, con la bomba succionadora que se encuentra ubicada en la faringe. Desde el primer momento en que entra el alimento es suministrado con enzimas llamada amilasa. Además en el esófago se encuentran las glándulas de Morren que secretan carbonato de calcio lo que contribuye a neutralizar la acidez del alimento (Cardozo, Ramírez y Garzón, 2011). Castillo y Chimbo (2021) indican que cuando el pH se vuelve neutro es gracias a la capacidad de la *Eisenia Foetida* de aumentar la mineralización del compuesto orgánico a CO y otras sales mineralizadas.

Asimismo el Nitrógeno Total tuvo un porcentaje promedio de remoción de 97.01%, superior al obtenido por Saboya (2018), de 78%, además citó a Wang et al., (2011), que atribuye la reducción de este parámetro a la mineralización de nitrógeno amoniacal en forma de nitrato, debido al impacto que generan las lombrices sobre las comunidades bacterianas y también a que las lombrices secretan polisacáridos, proteínas y otros compuestos nitrogenados, que ayudan en la reducción del nitrógeno. Cabe señalar que la temperatura juega un papel muy importante en la eliminación de NT, así lo indicó Prasad, et al., (2018), en su investigación donde trabajó humedal + *Eisenia Foetida* y concluyó que a mayor temperatura, existió menos NT. En cuanto al parámetro Fósforo Total se obtuvieron reducción de 63.25%, un valor superior, que el encontrado por Acuña y Reyes (2017), 55.15% con la especie *Eisenia Foetida*; y Chicaiza (2018), con 23%. De acuerdo a Morales y Bornhardt (2010) citado en

Cardozo, Ramírez y Garzón (2011), la vermifiltración es un sistema biológico complejo, que combina mecanismos físicos, químicos, microbiológicos y macrobiológicos (consorcio microorganismos-lombrices), para remover carga orgánica y nutriente del agua residual.

Por su parte el parámetro aceites y grasas se obtuvieron resultado buenos en las tres fechas, con una eficiencia de remoción de 80.21%. En todas las fechas se pudo ver reducciones, menores a 4,0 mg/L, "<"= Menor que el L.C.M (Límite de cuantificación del método). Los resultados obtenidos son mayores a los encontrados por Acuña y Reyes (2017), que fue 56.62%. Sin embargo Vicente (2016), obtuvo resultados superiores con eficiencia de 99.40% con el mismo medio filtrante, fibra de coco.

Por otro lado, los Sólidos Suspendidos Totales obtuvieron un porcentaje de remoción promedio de 95.30%, este valor fue más alto que el reportado por Cáceres, Calisaya y Bedoya (2018), remoción de 66,67% y Vicente (2016), con 82,06% con medio filtrante de fibra de coco. Asimismo hubo una eficiente remoción de la DBO se obtuvo una eficiencia promedio de 89.79%, resultados superiores a los de Cáceres, Calisaya y Bedoya (2018), con 50.36%, Pérez (2018), que obtuvo 73.61% de remoción, con un vermifiltro donde uso fibra de coco + aserrín, Vicente (2016), que uso solo fibra de coco y obtuvo 88.50% y Saboya (2018), que indica 92% de remoción. Capistran, et al. (2001) citado en Cardozo, Ramírez y Garzón (2011), señalan que las lombrices secretan un moco gelatinoso que queda en las paredes lo que favorece el desarrollo de microorganismos que contribuirán a descomponer en mayor proporción los componentes del agua residual.

Para la DQO se obtuvo un promedio general de eficiencia de remoción de 89.76%, un valor mayor al mencionado por Vicente (2016), con 70.15% que usó fibra de coco, asimismo sucedió con Pérez (2018), con un porcentaje de 79.53%, usando fibra de coco + aserrín y Saboya (2018), 86%. Sin embargo Acuña y Reyes (2017), nos superaron con 97.28%. En la DBO y DQO casi todos los efluentes pertenecientes a las tres fechas obtuvieron resultados por debajo de la normativa establecida en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM para efluentes, a excepción de la primera fecha donde se excedió mínimamente por 12mg/L y 1mg/L respectivamente, lo que se atribuye a que el vermifiltro estuvo iniciando su primera semana de operatividad. Además cabe mencionar que las lombrices en el tratamiento tienen dos funciones una como aireadores y mezcladores, y la otra como biodigestores. Sinha, et al. (2008), mencionan que los cuerpos de las lombrices trabajan como biofiltros que son capaces de remover la DBO₅ en más de un 90%, la DQO entre 80-90% y los SST entre 90-95%, por medio de mecanismos de ingestión, biodegradación y absorción a través de las paredes de su cuerpo (Cardozo, Ramírez y Garzón, 2011).

En cuanto a eficiencia de remoción de Coliformes Totales se obtuvo como resultado un 98.57%, que es superior a los resultados de Acuña & Reyes (2017), cuyo resultado fue de 90,18%. Asimismo se obtuvo un resultado superior a Saboya (2018), de 84%. Sin embargo Cáceres, Calisaya y Bedoya (2019), nos superaron mínimamente con resultados de remoción del 100% en coliformes termotolerantes; además ellos mencionaron que existió esa reducción microbiana gracias al oxígeno, pues las lombrices forman galerías durante su recorrido, lo que facilita el ingreso de oxígeno. Además Camp, Dresser y Mckee (1980), indica que las bacterias como Salmonella, sp. al entrar al tracto digestivo de las lombrices se destruyen (Cardozo, Ramírez y Garzón, 2011).

Vicente (2016), realizando una comparación entre empaque, obtuvo una eficiencia del 82.37% con empaque de fibra de coco, a diferencia del empaque con aserrín. Con la presente investigación recomendamos el uso de fibra de coco como medio filtrante orgánico y como una mejor opción que el aserrín o viruta, puesto que brinda mejores resultados; obtuvimos un porcentaje de remoción de 68.44% con este producto y se pudo conocer que el vermifiltro va mejorando su rendimiento a medida que pasan los días.

CONCLUSIONES

El vermifiltro presentado es un modelo a escala real bien estructurada, con una forma sencilla de construir y con bases sólidas para sustentar su elaboración. La altura fue muy importante e indispensable en la remoción de los parámetros del agua residual; cabe mencionar que en el diseño se consideró tubos de aireación adheridos en la estructura. La zona biológica (Tierra + compost semimaduro y fibra de coco) es la que ocupó gran parte del biofiltro, con una altura de 0.66m equivalente al 60%. Los resultados del análisis de ensayo de laboratorio mostraron grandes reducciones de los parámetros en evaluación en el agua residual de uso doméstico con tratamiento. Por lo tanto es muy importante señalar que el vermifiltro con la especie *Eisenia Foetida* es eficiente para remover parámetros físicos (Temperatura y Sólidos Suspendidos Totales), químicos (pH, Nitrógeno total, Fósforo total, Aceites y Grasas, Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno) y microbiológicos (Coliformes Totales); puesto que existió diferencia entre los valores de los parámetros del agua residual de uso doméstico sin tratamiento y los valores de los parámetros del agua residual de uso doméstico con tratamiento, en las tres diferentes fechas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, J., y Reyes, J. (2017). *Eficiencia de lumbricus terrestris y Eisenia Foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua - Amazonas, 2015* (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas). https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTR_137370a0cb638bb0e0e2a1546311a93c
- Adugna, A., Andrianisa, H., Konate, Y., y Maiga, A. (2019). Fate of filter materials and microbial communities during vermifiltration process. *Journal of Environmental Management*, 242(2019), 98–105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.076>
- Arora, S., y Saraswat, S. (2021). Vermifiltration as a natural, sustainable and green technology for environmental remediation: A new paradigm for wastewater treatment process. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4(2021), 100061. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100061>
- Cáceres, D., Calisaya, G., y Bedoya, E. (2018). Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista de Ciencia y tecnología para el Desarrollo-UJCM 2018*, 4(Número Especial):13-23. doi:

- <http://dx.doi.org/10.37260/rctd.v4i0.115.g99>,
<https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115/99>
- Cáceres, D., Calisaya, G., y Bedoya, E. (2019). Eficiencia de *Eisenia Foetida*, Eichornia Crassipes e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú. *Ecología Aplicada*, 20(1), 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i1.1692>
- Cardoso, L., Ramírez, E., Garzón M., Bahena, E., Morales, E., Cervantes, F., y Enriquez, J., (2011). Vermifiltración para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales Proyecto TC-1107. Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Enfoque UTE*, vol. 12, núm. 2, pp. 80-99, 2021. doi: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Castillo, J., y Chimbo, J. (2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales.
- Centeno, L., Quintana, A., y López, F. (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldoa*, 26(1), 433–446. doi: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26123>
- Chávez, J. (2017). *Eficiencia de un Biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente en la ciudad de Celendin* (Tesis para obtener título profesional). Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Chicaiza, C. (2018). *Estudio de la influencia de la tasa hidráulica en la bidegradación de aguas residuales domésticas tratadas por sistema no convencionales de vermifiltración* (Tesis para obtener título profesional de Ingeniero Ambiental). Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Ferro, F., Ferro P., y Ferro A. (2019) Distribución temporal de las enfermedades diarreicas agudas, su relación con la temperatura y cloro residual del agua potable en la ciudad de Puno, Perú. *Journal of High Andean Research*, 2019; 21(1): 69-80 Vol 21 N° 1. doi: <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.446>
- Figueroa, J. (2018). “*Biofiltros con Furcraea andina y Eucalyptus globulus para mejorar la calidad del efluente de la piscigranja de Acopalca - Ancash - 2018*”(Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Ambiental). Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad César Vallejo, Lima.
- Flores, E., Miranda, M., y Villasís, M. (2017) El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadísticas adecuada. Estadística inferencial. *Revista Alergia Mexico*, 64(3), 364–370. doi: <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
- Gallardo, L. (2017). *Análisis de la Fibra de Coco como filtro en el tratamiento de Aguas Residuales provenientes del centro de faenamiento Latacunga* (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil). Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Huamaní, Z., y Pocasangre, A. (2020). Estudio de coeficientes cinéticos de filtros percoladores por etapas, con medio filtrante de piedra volcánica. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, Vol. 15 Núm. 1 (2020). Recuperado de: <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1133>
- Jordi, S., Francese, T., Ricard, J., y Rodríguez, M. (2019). Planta de tratamiento de aguas

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