

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental



“REMOCIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS MEDIANTE UN PROCESO DE VERMIFILTRACIÓN Y JACINTO DE AGUA (*EICHHORNIA CRASSIPES*) DEL ASENTAMIENTO HUMANO LOMAS DE ZAPALLAL – DISTRITO DE PUENTE PIEDRA – LIMA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Ronal Jans Castillo Rivera

Asesor:

Ing. JUAN NEDINA COLLANA

Lima - Perú

2020

DEDICATORIA

Este logro va dedicado a mis padres, hermanos, familiares y amigos, fueron ellos el motor y motivo, que, a pesar de la adversidad, nunca dejaron de creer en mí, y fue ello que me motivó a seguir luchando y así lograr uno de mis objetivos

AGRADECIMIENTO

Doy las gracias en primer lugar a Dios, por brindarme la vida y la salud y cuidar de mis padres, familiares y amigos, en segundo lugar, agradecer a mis padres por su gran apoyo incondicional a mi persona, por apoyarme en momentos difíciles de mi vida, también agradecer a mis familiares y amigos por sus sabios consejos y por la motivación para vencer mis temores y lograr mis triunfos, gracias a todos mis maestros que formaron parte de mi educación, gracias por todas las enseñanzas y consejos.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
INDICE DE ANEXOS	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	14
CAPÍTULO III. RESULTADOS	24
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS	42
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica o municipales.....	19
Tabla 2 Porcentaje de remoción de aceites y grasas	25
Tabla 3 Porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes	27
Tabla 4 Porcentaje de remoción de DBO.....	29
Tabla 5 Porcentaje de remoción de DQO.....	31
Tabla 6 Porcentaje de remoción de SST	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Primera Columna Piloto de Vermifiltración y Jacinto de Agua.....	15
Figura 2. Segunda Columna Piloto de Vermifiltración y Jacinto de Agua.....	16
Figura 3. Tercera Columna Piloto de Vermifiltración y Jacinto de Agua.....	17
Figura 4: Ubicación del Área de los Vermifiltros Pilotos.....	20
Figura 5: Ubicación de la PTAR.....	23
Figura 6: Parámetro de Aceites y Grasas.....	24
Figura 7: Parámetros de Coliformes Termotolerantes - log (10).....	26
Figura 8: Parámetro DBO.....	28
Figura 9: Parámetro de DQO.....	30
Figura 10: Parametro de Solidos Totales Suspendedos.....	32
Figura 11: Parámetro pH.....	34
Figura 12: Parámetro de Temperatura.....	35

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de porcentaje de remoción de Aceites y Grasas	25
Ecuación 2. Cálculo de porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes.....	27
Ecuación 3. Calculo de porcentaje de remoción del parámetro DBO	29
Ecuación 4. Calculo de porcentaje de remoción del parámetro DQO	31
Ecuación 5. Calculo de porcentaje de remoción del parámetro SST.....	33

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Registro de datos de campo.....	45
Anexo 2: Cadena de custodia	46
Anexo 3: Requisitos para la toma y preservación de muestras	47
Anexo 4: Etiqueta de muestreo.....	48
Anexo 5: Resultados del laboratorio multifuncional UPN.....	49
Anexo 6: Solicitud de acceso a la PTAR	50
Anexo 7: Armado de columnas de vermifiltración.....	51
Anexo 8: Obtención del bagazo de caña	53
Anexo 9: Obtención de lombrices	54
Anexo 10: Obtención del Jacinto de agua.....	55
Anexo 11: Acondicionamiento de las columnas de vermifiltración.....	56
Anexo 12: Operación de las columnas de vermifiltración	57
Anexo 13: Calibración del multiparámetro	58
Anexo 14: Toma de muestra inicial en la PTAR.....	59
Anexo 15: Traslado de los 25 Lt. de agua residual doméstica	61
Anexo 16: Medición con el multiparámetro en la columna de vermifiltración	62
Anexo 17: Medición del parámetro SST en el laboratorio multifuncional UPN	63
Anexo 18: Medición del parámetro de DBO en el laboratorio multifuncional UPN	64

RESUMEN

La elaboración de este proyecto se realizó con el fin de plantear una nueva alternativa de tratamiento de agua residual doméstica debido a que hoy en actualidad tratar el agua residual se ha vuelto un gran problema debido al elevado costo que este genera. El objetivo principal fue disminuir la concentración de los 7 parámetros físicoquímicos y microbiológicos de la normativa peruana límites máximos permitidos (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del D.S. N° 003 – 2010 MINAM; Los materiales principales utilizados para esta investigación fueron; compus y lombrices, bagazo de caña, arena fina, piedra chancada, y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*); los resultados obtenidos de este trabajo experimental fueron positivos ya que se logró la reducción de los parámetros de hasta 94.4% de Aceites y Grasas, 45.8% de Coliformes Termotolerantes, 82.2% de DBO, 64.8% de DQO, 94.9% de SST y se logró mantener dentro del rango establecido por la norma a los parámetros de pH y Temperatura.

Se concluye que el agua obtenida cumple la normativa peruana límites máximos permitidos (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del D.S. N° 003 – 2010 MINAM.

Palabras clave: *Remoción, parámetros, físicoquímicos y microbiológicos, vermifiltración, Jacinto de agua.*

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A partir de los años 90 la contaminación del agua se ha visto afectada en casi todos los ríos de América Latina, África y Asia; para las próximas décadas se espera que la calidad del agua se deteriore aún más aumentando diversas amenazas para la salud humana y el medio ambiente siendo los más afectados los países de bajo desarrollo económico con un mayor índice de crecimiento demográfico y la falta de sistemas de gestión de aguas residuales (UNESCO 2018).

Según el estudio realizado por (Adugna et al. 2015), los países en desarrollo especialmente en áreas urbanas, existe poca o ninguna cobertura para la recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas, la descarga incontrolada de aguas grises altamente contaminada con patógenos y sustancias orgánicas e inorgánicas expuestas en calles y espacios abiertos origina gran contaminación del ambiente, mal olor y brote de enfermedades; por ello pequeñas tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas de bajo costo aplicadas en hogares individuales o un grupo de hogares pueden resultar útil.

Se espera un aumento de escasez de agua debido a la rápida industrialización y urbanización, reusar las aguas residuales tratadas es una de las formas sustentables de la gestión de aguas residuales, sin embargo existe variedades de técnicas aplicadas al tratamiento de aguas residuales tales como la adsorción, filtración por membrana, métodos electroquímicos, nanofiltración u ósmosis inversa entre otros; no obstante estas técnicas mencionadas en términos de parámetros operativos son complejas y con altos costos de equipamiento; sin embargo la vermifiltración no necesita de energía, la operación implementación y mantenimiento es simple y económico, no se requiere de

una mayor área, este método está libre de químicos ya que sus componentes para el tratamiento de aguas domésticas e industriales rurales se realizan a través de lombrices de tierra como un biofiltro (Ghasemi et al. 2020).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el año 2019, el 81,0% de la población del área rural del país no tienen sistema de red pública de alcantarillado, el 21.7% eliminan las excretas mediante pozo séptico, el 26.6% lo hace a través de pozos ciegos o negros, el 9.3% cuenta con letrina y el 21.9% no tienen ningún tipo de servicio higiénico (INEN 2019) ; esto indica que, existe una contaminación ambiental ya que dichas aguas son expulsadas al medio ambiente sin ningún tratamiento perjudicando la salud poblacional y mal estar a través de fuertes olores que resultan siendo focos infecciosos en el medio ambiente.

La vermifiltración es una alternativa para las plantas de tratamiento de aguas residuales aplicado en hogares (Li et al. 2013), el efecto de las lombrices en el proceso de la vermifiltración tiene un alto potencial para el tratamiento de aguas residuales (Liu et al. 2012).

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera la remoción de parámetros físicoquímicos y microbiológicos mediante un proceso de vermifiltración y jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) será efectiva en cuanto a la reducción de los valores del agua residual doméstica contaminada provenientes del Asentamiento Humano Lomas de Zapallal Distrito de Puente Piedra?

1.1. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante un proceso de vermifiltración y jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) del Asentamiento Humano Lomas de Zapallal Distrito de Puente Piedra para reducir los valores del agua residual doméstica contaminada según la normativa peruana LMP para los efluentes de PTAR del D.S. N° 003 – 2010 MINAM.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar los resultados de remoción de los parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica después del proceso de vermifiltración y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).
- Interpretar los resultados de remoción de los parámetros microbiológicos del agua residual doméstica luego de finalizar el proceso de vermifiltración y jacinto (*Eichhornia crassipes*).
- Comparar los resultados finales de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con la normativa peruana Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM – para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante un proceso de vermifiltración y jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) del Asentamiento Humano Lomas de Zapallal Distrito de Puente Piedra está relacionada con el uso de compus y lombrices, de bagazo de caña, arena fina y piedra chancada.

1.3.2. Hipótesis específicas

- El sustrato inorgánico disminuirá los valores de los parámetros fisicoquímicos (Aceites y Grasas, DBO, DQO, pH, SST).
- El sustrato orgánico reducirá los valores de los parámetros microbiológicos (Coliformes Termotolerantes).
- Los resultados obtenidos durante el proceso de vermifiltración cumplirá la normativa peruana Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM – para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Materiales, instrumentos y métodos

Para la elaboración de este proyecto de investigación se utilizaron los siguientes materiales: planchase de láminas de vidrio, piedra chancada, arena fina, bagazo de caña, compostaje con lombrices, jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), manguera de plástico transparente, tres baldes plásticos con un volumen de 20lt y un balde de 5 lt. (Adugna et al. 2015), en su diseño de vermifiltración para tratar aguas residuales usó grava, arena, aserrín y lombriz (*Eisenia fetida*). (Samal, Dash, y Bhunia 2017) plantea la integración de filtración por macrófitos con el fin de potenciar el sistema de vermifiltración. (Singh et al. 2019) la vermifiltración unido con macrófitas son las mejores tecnologías sostenibles, naturales y ecológicas para el tratamiento y reutilización de aguas residuales. (Baldeón et al. 2017) la macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de Agua) tienen eficiencia en remoción de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados.

El trabajo de esta investigación se inició diseñando seis columnas de láminas de vidrio, tres de ellas con dimensiones de 65cm de altura x 20cm² de ancho, su posición de funcionamiento fue vertical; las otras tres columnas de láminas de vidrio con dimensiones de 60 cm² dividido en cuatro partes con posición de funcionamiento de manera horizontal. Las seis columnas fueron divididas en tres estudios pilotos de tal manera de que en cada estudio piloto constó de una columna de lámina de vidrio posicionada de manera vertical y la otra columna de lámina de vidrio fue adaptada de forma horizontal.

El propósito del estudio de la investigación a través de los tres estudios pilotos fue determinar cuál de las tres columnas pilotos de vermifiltración fue la más apropiada

para el tratamiento de agua residual doméstica, a continuación se detalla los tres estudios pilotos de las columnas de vermifiltración:

El primer estudio piloto de vermifiltración en la columna posicionada verticalmente presenta una mezcla de sustrato orgánico e inorgánico en diferentes proporciones (25% de compus y lombrices, 25% de bagazo de caña, 25% de arena fina, 25% de piedra chancada), (Samal et al. 2017) indica que los diseños para la vermifiltración son de flujo vertical significa agua fluye verticalmente hacia abajo; en la columna adaptada horizontalmente se colocó una planta de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las tres primeras partes divididas, la última parte dividida fue utilizada para la toma de muestras, este método fue aplicado para las tres columnas pilotos de vermifiltración, observar (*figura N°1*):

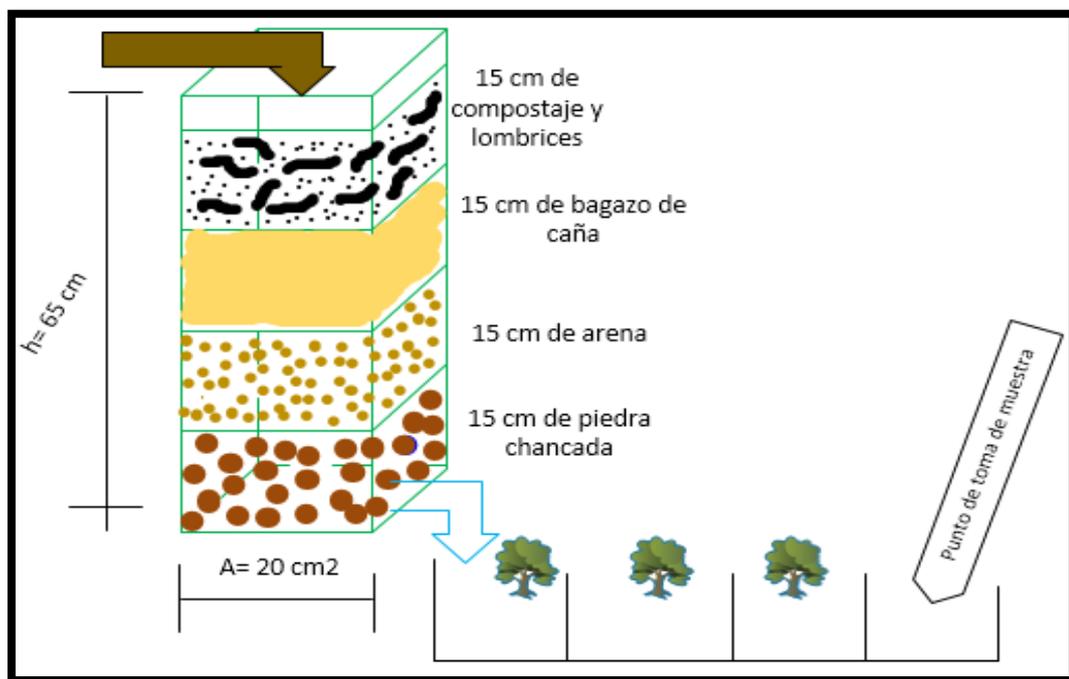


Figura 1. Primera Columna Piloto de Vermifiltración y Jacinto de Agua

El segundo estudio piloto de vermifiltración en la columna posicionada verticalmente está representada por la combinación de sustrato orgánico e inorgánico en diferentes

proporciones (33.33% de compus y lombrices, 33.33% de bagazo de caña, 16.67% de arena fina, 16.67% de piedra chancada), en la columna acoplada horizontalmente se colocó una planta de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las tres primeras partes divididas, la última parte dividida fue utilizada para la toma de muestras final del agua residual domestica una vez terminado el proceso de la vermifiltración a través de ambas columnas del segundo estudio piloto, esto se puede observar en la (figura N° 2)

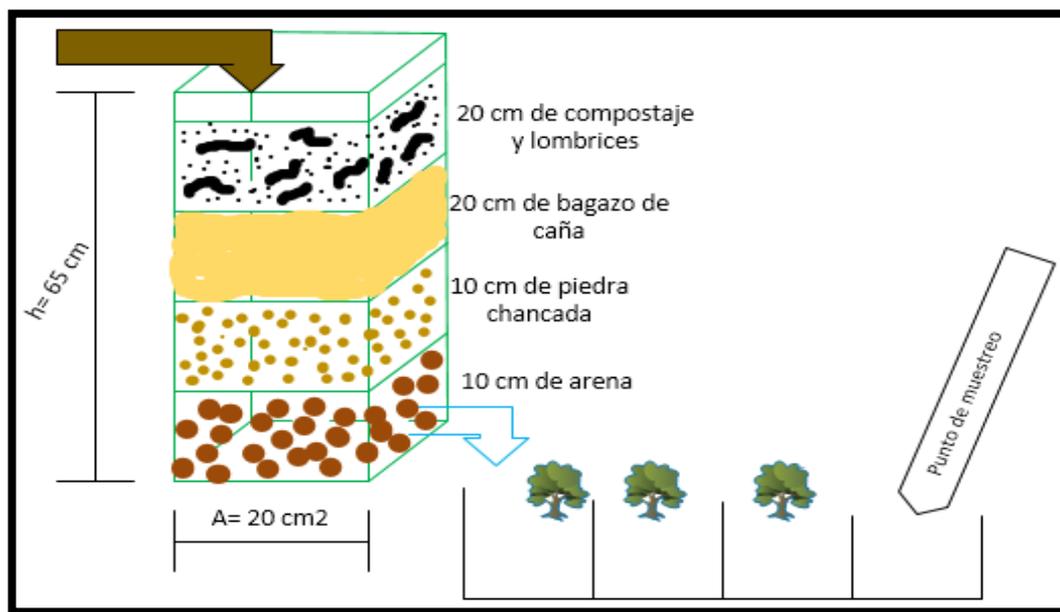


Figura 2. Segunda Columna Piloto de Vermifiltración y Jacinto de Agua

El tercer estudio piloto de vermifiltración en la columna posicionada verticalmente fue representada por la combinación de sustrato orgánico e inorgánico en diferentes proporciones (16.67% de compus y lombrices, 16.67% de bagazo de caña, 33.33% de arena fina, 33.33% de piedra chancada), en la columna adaptada horizontalmente se colocó una planta de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en las tres primeras partes divididas, la última parte dividida fue utilizada para la toma de muestras final del agua residual domestica una vez terminado el proceso de la vermifiltración a través de ambas columnas del tercer estudio piloto, esto se puede observar en la (figura N° 3):

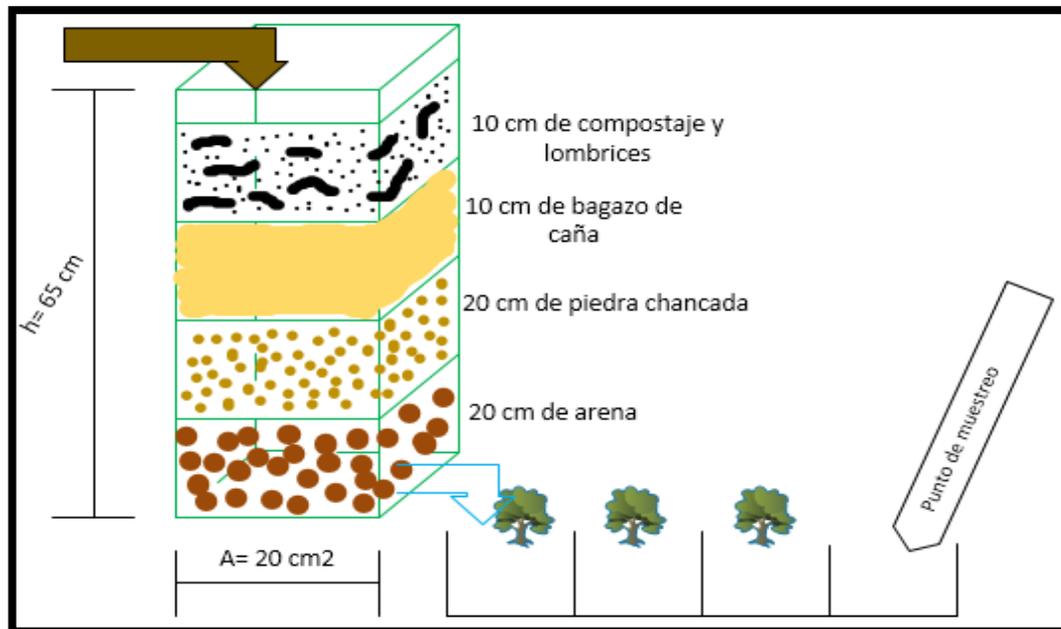


Figura 3. Tercera Columna Piloto de Vermifiltración y Jacinto de Agua

El estudio de esta investigación tuvo una duración de 7 meses desde el inicio de la construcción de las columnas, recolección de los materiales y del armado general del proyecto de investigación; el proceso de adaptación de las plantas de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) se inició utilizando agua de pozo, luego de ello se procedió a suministrar el agua residual doméstica de manera gradual evitando posibles impactos negativos en las plantas y este mismo proceso fue aplicado a las lombrices (*Eisenia fétida*), esta etapa tuvo una duración de 70 días; (Wang et al. 2011) realizó la aclimatación de la vermifiltración sembrando aguas residuales domésticas en modo discontinuo por un periodo de 3 meses. Según (Arora y Kazmi 2015) menciona que el mejor rendimiento de la vermifiltración con *Eisenia Fetida* es a una de temperatura de 25 a 30 °C.

Una vez culminada la etapa de adaptación del vermifiltro se procedió con la recolección 36 litros de agua residual y con una frecuencia inter diaria, este volumen de agua residual recolectado se dispuso en un recipiente (balde) al mismo que se adaptó

una adaptó una manguera que repartía como un conducto en forma de goteo hacia los tres vermifiltros pilotos, este periodo tuvo una duración de 100 días. Ver el sistema completo de vermifiltración en el (Anexo n°12).

El flujo de agua fue de 12 lt/300 minutos en cada una de las tres columnas piloto de los vermifiltros; la retención hidráulica en la columna 01 fue de 110 minutos, en la columna 02 fue de 130 minutos mientras que en la tercera columna piloto de vermifiltración fue de 90 minutos. (Singh, Bhunia, y Dash 2018) manifiesta que el tiempo de retención hidráulica es clave del proceso responsable del tratamiento de compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.

2.2. Métodos e instrumentos de recolección de datos

La metodología de trabajo es cuantitativa porque estudia la asociación o relación entre variables, además se recogen y analizan datos cuantitativos sobre las variables, también permite examinar los datos de manera numérica, especialmente en el campo de la Estadística (Hernández Sampieri, Roberto & Fernández Collado, Carlos & Baptista Lucio, Pilar. 2010).

Según el autor (Hernández Sampieri, Roberto & Fernández Collado, Carlos & Baptista Lucio, Pilar. 2010) "Un instrumento de medición adecuado es aquel que registra datos observables que representa verdaderamente los conceptos o las variables que le investigador tienen en mente".

Para la técnica de recolección de datos el usara el método de observación mediante:

- Registro de datos en campo (Anexo n°1).
- Cadena de custodia (Anexo n°2).

Instrumentos mecánicos o electrónicos utilizados en el proyecto:

- Multiparámetro, para la medición in situ de temperatura y pH

- GPS, Reloj, celular.

También se utilizó un programa digital "Excel" para la elaboración de figuras y cuadros de datos finales.

2.3. Procedimiento de toma de muestras y análisis de laboratorio

Según el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) "Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales". Aprobado mediante la resolución ministerial N° 273-2013-VIVIENDA Lima, 24 de octubre de 2013, establece que "La frecuencia de monitoreo para cada parámetro es en función al caudal de operación actual de la planta de agua residual doméstica (PTAR) (promedio diario)".

Tabla 1

Protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica o municipales.

Rango de caudal promedio anual de la PTAR	Frecuencia de monitoreo	Frecuencia mínima de medición de caudal
>300 L/s	Mensual	Lecturas horarias, 365 días
> 100 a 300 L/s	Trimestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por mes
>10 a 100 L/s	Semestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por trimestre
<10 L/s	Anual	Lecturas horarias, por 24 horas una vez por semestre

Fuente: Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA.

El caudal que presenta la PTAR es de 12.25 Lt/s, esta medida fue tomada en campo por el mismo autor del trabajo de investigación usando como materiales de apoyo para la recolección de este dato un balde de capacidad de cinco litros y un cronometro.

La toma y preservación de muestras de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos se realizó de acuerdo al "Protocolo de monitoreo de la calidad de los

efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales” (Anexo n°3).

La primera toma de muestra inicial (M.I) se realizó dentro de la PTAR, en el proceso del desarenador, de este mismo punto se recolecto 36 litros de agua residual domestica que fueron trasladados al lugar del estudio piloto ubicado en la av. Tarapacá calle 10 de junio con coordenadas geográficas UTM (X.272006) (Y.8688435), (ver figura 04).



Figura 4: Ubicación del Área de los Vermifiltros Pilotos
Fuente: Google Heart Pro 2020

Este lugar se encuentra ubicado a 2 km de distancia de la planta de tratamiento de aguas residual doméstica (PTAR) y fue usada como el área del estudio de tres pilotos de vermifiltración y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

La toma de muestras de los parámetros (DBO, DQO, SST, Aceites y Grasas y Coliformes Termotolerantes) se realizó obedeciendo a la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA “Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales”, estas muestras fueron rotuladas según el (Anexo n°4), con su cadena de custodia (Anexo n°2) y luego fueron dispuestas en un cooler con el fin de preservar

la temperatura ideal para luego ser transportadas al laboratorio EQUAS S.A. para su análisis correspondiente.

Algunos parámetros como (DBO, SST) fueron analizados en el laboratorio multifuncional de la Universidad Privada del Norte, estos datos específicos se pueden apreciar en el (Anexo n°5).

Según la Resolución Jefatural del (ANA 2016), los parámetros (pH y temperatura °C) son considerados como parámetros de campo, es por ello que estos parámetros fueron medidos de manera in situ con un multiparámetro propio, previo al muestreo se realizó la calibración del multiparámetro de marca (ATC).

2.4. Tipo de investigación

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo y es de tipo cuasi experimental; cuantitativo por lo mismo que se tiene un registro de datos numéricos de análisis iniciales y finales del tratamiento de agua residual doméstica y cuasi experimental porque según (Hernández Sampieri, Roberto & Fernández Collado, Carlos & Baptista Lucio, Pilar. 2010) considera que una investigación de tipo cuasi experimental es cuando existe manipulan intencionalmente de una o más variables independientes para observar su efecto y relación sobre las variables dependientes, además menciona también que los sujetos no se asignan de manera aleatoria y no existe emparejamiento de los grupos, sino que dichos grupos ya están formados previo al experimento, lo que indica que son grupos intactos (la razón y manera de formación de estos grupos es independiente o es parte del estudio de experimento).

Según un estudio realizado por la (UNICEF s. f.) menciona que diseños cuasi experimentales identifican un grupo de comparación lo más parecido posible al grupo de tratamiento en cuanto a las características del estudio con el fin de establecer si el

tratamiento ha causado alguna diferencia entre los resultados del grupo de tratamiento y los del grupo de comparación.

2.5. Población y muestra

Según (Hernández Sampieri, Roberto & Fernández Collado, Carlos & Baptista Lucio, Pilar. 2010) define a la población como el grupo de todas las circunstancias que coincidan con una serie de especificaciones.

La población está representada por todas las aguas residuales provenientes del Asentamiento Humano Lomas de Zapallal en el distrito de Puente Piedra y su caudal es de 12.25 lt/s. La muestra es de tipo no probabilística, debido a que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, si no que depende del investigador (Hernández Sampieri, Roberto & Fernández Collado, Carlos & Baptista Lucio, Pilar. 2010).

En este caso la muestra fue tomada en el proceso del desarenador, esta planta de tratamiento de agua residual doméstica está ubicado en el Distrito de Puente Piedra Zapallal cruce de Ventanilla con coordenadas UTM (X.270113) (Y.8690626), ver (*figura N°5*). Para este estudio se realizaron 3 muestreos de los 7 parámetros físicoquímicos y microbiológicos (aceites y grasas, coliformes Termotolerantes, DBO, DQO, SST, pH y temperatura).



Figura 5: Ubicación de la PTAR
Fuente: Google Earth Pro 2018

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados y porcentajes de remoción de parámetros bajo la normativa del D.S. N° 003-2010-MINAM–LMP.

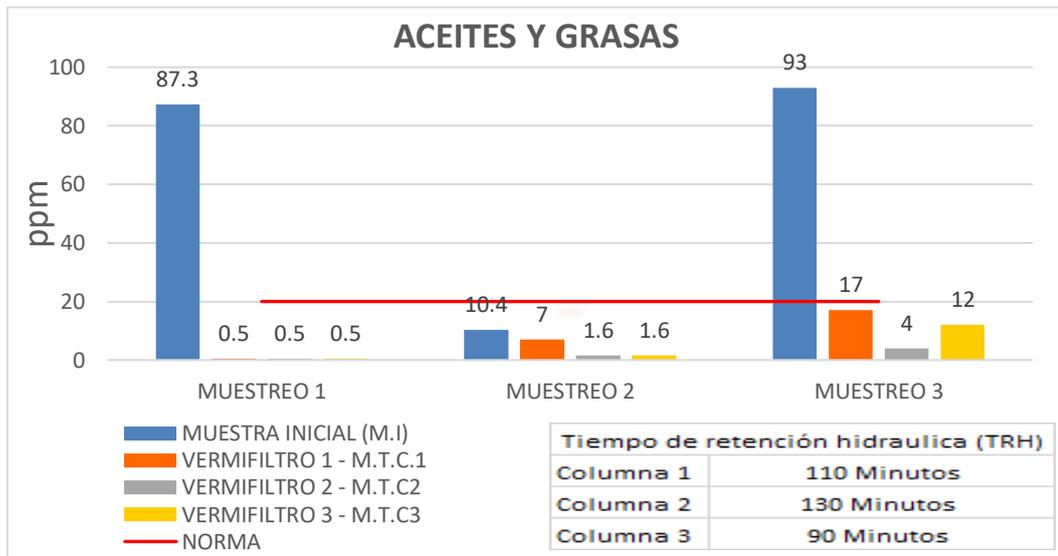


Figura 6: Parámetro de Aceites y Grasas

Se observó en la (figura N°6) que los resultados obtenidos para en el parámetro de aceites y grasas fue efectiva durante los 3 muestreos que se realizó, se apreció que la muestra de concentración inicial del parámetro es muy alta respecto los resultados obtenidos en las tres columnas de vermifiltración.

Según la normativa del D.S. N° 003-2010-MINAM–LMP menciona que la concentración de dicho parámetro no debe ser mayor a 20 mg/L, esto indica que los resultados cumplen con la norma ya que no sobre pasa la línea de color rojo que representa el LMP de la norma.

Los resultados más efectivos fueron de 0.5 mg/L durante el primer muestreo en las columnas de vermifiltro 1, 2 y 3.

Según (Quille Quille 2018) la mezcla de aserrín interviene en la reducción del parámetro aceites y grasas, sin embargo en este estudio se utilizó bagazo de caña debido a sus propiedades físicas, (Pire y Pereira 2003) señala que las propiedades físicas del bagazo de caña son: humedad 8.9%, porosidad 89.4%, porosidad de aireación 47% y retención de humedad 42.4%.

A demás de ello también se evaluó el tiempo de retención hidráulica (TRH) en las tres columnas de vermifiltración a fin de para determinar presencia de comportamientos extraños durante la evaluación del proyecto. (Singh, Bhunia, y Dash 2017) indica que dentro de este tiempo de TRH las lombrices llevan a cabo los procesos físicos y bioquímicos para eliminar sustancias orgánicas y nutrientes.

Tabla 2
Porcentaje de remoción de aceites y grasas

PARAMETRO	M.I (mg/l)	VERMIFILTRO 1	VERMIFILTRO 2	VERMIFILTRO 3
Aceites y grasas	87.3	99.4 %	99.4%	99.4%
	10.4	32.69%	84.62%	84.62%
	93	81.72%	95.70%	87.10%

Fuente: Elaboración propia

Se observó en la (*tabla N°2*) que el mejor % de remoción del parámetro de aceites y grasas es en la columna del vermifiltro 2 (M.T.C2) ya que se obtuvo porcentajes de 99.4%, 84.62% y 95.70%, el segundo mejor resultado fue en la columna del vermifiltro 3 (M.T.C3) con resultados de 99.4%, 84.62% y 87.10%; en la columna del vermifiltro 1 (M.T.C1) los resultados fueron de 99.4%, 32.69% y 81.72%.

Ecuación 1

Cálculo de porcentaje de remoción de Aceites y Grasas

$$\% \text{ de remocion} = \frac{(\text{concentracion inicial} - \text{concentracion final})}{(\text{concentracion inicial})} \times 100$$

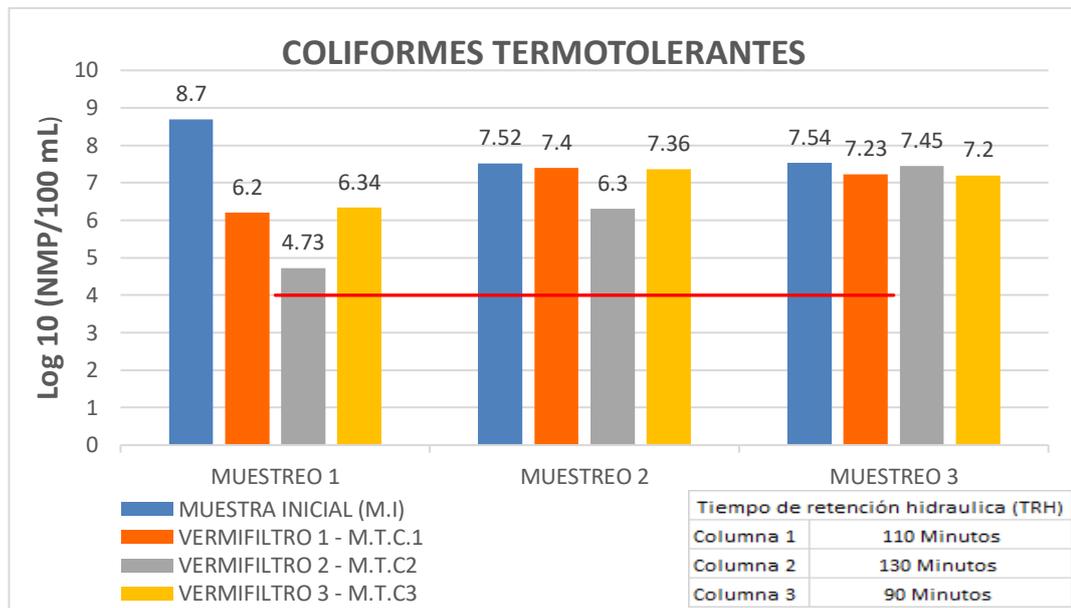


Figura 7: Parámetros de Coliformes Termotolerantes - log (10)

Los resultados de Coliformes Termotolerantes fueron convertidos en logaritmo base 10 (log 10) debido a que los números son muy largos y dificultan el trabajo de elaboración de cuadros y figuras.

Se observó en la (figura N°7) que los resultados obtenidos durante los 3 muestreos del parámetro de Coliformes Termotolerantes, si hubo una reducción debido a que la concentración inicial del parámetro es mayor respecto al resultado en las tres columnas de vermifiltración; sin embargo no se logró superar el LMP de la normativa ya que todos los resultados en los vermifiltros sobre pasan la línea de color roja que representa el LMP de la norma del D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP la misma que indica que para el parámetro de Coliformes Termotolerantes la concentración no debe ser mayor a 10,000 NMP/100 ml (4 log) log 10.

Los mejores resultados del tratamiento se aprecia en la columna del vermifiltro 2 ya que la concentración inicial de entrada a los vermifiltros en el primer muestreo fue de 54×10^7 NMP/100 mL (8.7 log.) log 10 y el mejor resultado se dio en la columna del

vermifiltro 2 (M.TC2) con una reducción un 54×10^3 NMP/100 mL (4.73 log.) log 10, sin embargo el muestreo 2 y 3 se observa un incremento de concentración del parámetro en los resultados, esto se debió a una migración de las lombrices a otra fase de la columna de la vermifiltración, esto ocasiono la muerte de las lombrices y el incremento de concentración del parámetro, el autor (Rios y Vasni 2018) menciona que la lombriz (*Eisenia foetida*) debido a su cantidad de flora microbiana en su intestino tiene un potencial en la degradación de la materia orgánica.

Tabla 3
Porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes

PARAMETRO	M.I (NMP/100 Ml)	VERMIFILTRO 1	VERMIFILTRO 2	VERMIFILTRO 3
Coliformes	8.73	28.6%	45.8%	27.4%
Totales	7.52	1.6%	16.2%	2.1%
log(10)	7.54	4.1%	1.2%	4.5%

Fuente: Elaboración propia

Se observó en la (*tabla N°3*), que en el mejor % de remoción de Coliformes Termotolerantes fue en la columna del vermifiltro 2 (M.T.C2) debido a que se obtuvo resultados de hasta un 45.8%, 16.2% y 1.2% de remoción. El segundo mejor resultado fue en la columna 1 (M.T.C1) con un 28.6%, 1.6% y 4.1% de remoción. En la columna 3 (M.T.C3) los resultados de remoción fueron de 27.4%, 2.1% Y 4.5%. Para la elaboración de estos resultados se tomó como el 100% a la muestra inicial (M.I).

Ecuación 2
Cálculo de porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes

$$\% \text{ de remocion} = \frac{(\text{concentracion inicial} - \text{concentracion final})}{(\text{concentracion inicial})} \times 100$$

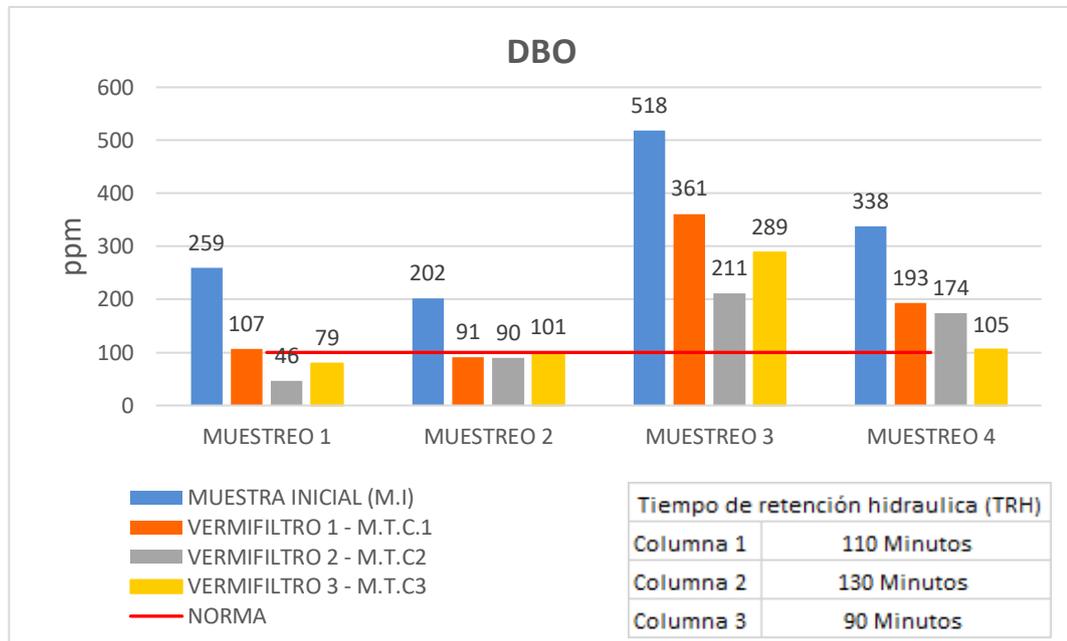


Figura 8: Parámetro DBO

Se observó en la (figura N°8) los resultados obtenidos para en el parámetro de DBO una reducción durante los 4 muestreos que se realizó, se apreció que la concentración inicial del parámetro correspondiente es mayor al resto de los resultados que se obtuvieron en las tres columna de vermifiltración.

Los resultados más efectivos fueron los vermifiltros 1 y 2, en los dos primeros muestreos se observó que la columna 2 (M.T.C2) tiene los mejores resultados de reducción de concentración en DBO, además cumplen con la normativa del D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP que indica una concentración de 100 mg/L y esto se puede apreciar en la (figura N°8) debido a que los resultados no sobrepasa la línea de color rojo que representa el LMP de la normativa peruana.

Sin embargo, en el muestreo 3 y 4 también se observó un incremento en los resultados de DBO que sobrepasan los LMP del D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP; por ello se asumió que este incremento se debe a la falta de oxigenación en la fase de

las columnas del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) ya que se presentaron problemas de atascamiento en la manguera que repartía como conducto de entrada del agua residual doméstica hacia los vermifiltros por ello el ingreso de agua no fue constante y además de ello se suman la muerte de lombrices. (Samal et al. 2017) indica que las plantas de macrofitas se encargan de distribuir el oxígeno a través de su enraizamiento. (Arora et al. 2014) señala que las enzimas presentes en el intestino de las lombrices son responsables de la degradación de elementos y procesos químicos en las aguas residuales.

Tabla 4
Porcentaje de remoción de DBO

PARAMETRO	M.I (mg/L)	VERMIFILTRO 1	VERMIFILTRO 2	VERMIFILTRO 3
DBO	259	58.7%	82.2%	69.5%
	202	55.0%	55.4%	50.0%
	518	30.3%	59.3%	44.2%
	338	42.9%	48.5%	68.9%

Fuente: Elaboración propia

Se observó en la (tabla N°4) que el % de remoción del parámetro de DBO más efectivo fue en la columna 2 (M.T.C2) debido a que los resultados fueron 82.2%, 55.4%, 59.3% y 48.5%, en la columna 3 (M.T.C3) se obtuvo el segundo mejor resultado que fueron de 69.5%, 50%, 44.2% y 68.9% de remoción, mientras que en la columna 1 (M.T.C1) los resultados fueron de 58.7% 55.0% 30.3% y 42.9%.

Ecuación 3

Calculo de porcentaje de remoción del parámetro DBO

$$\% \text{ de remocion} = \frac{(\text{concentracion inicial} - \text{concentracion final})}{(\text{concentracion inicial})} \times 100$$

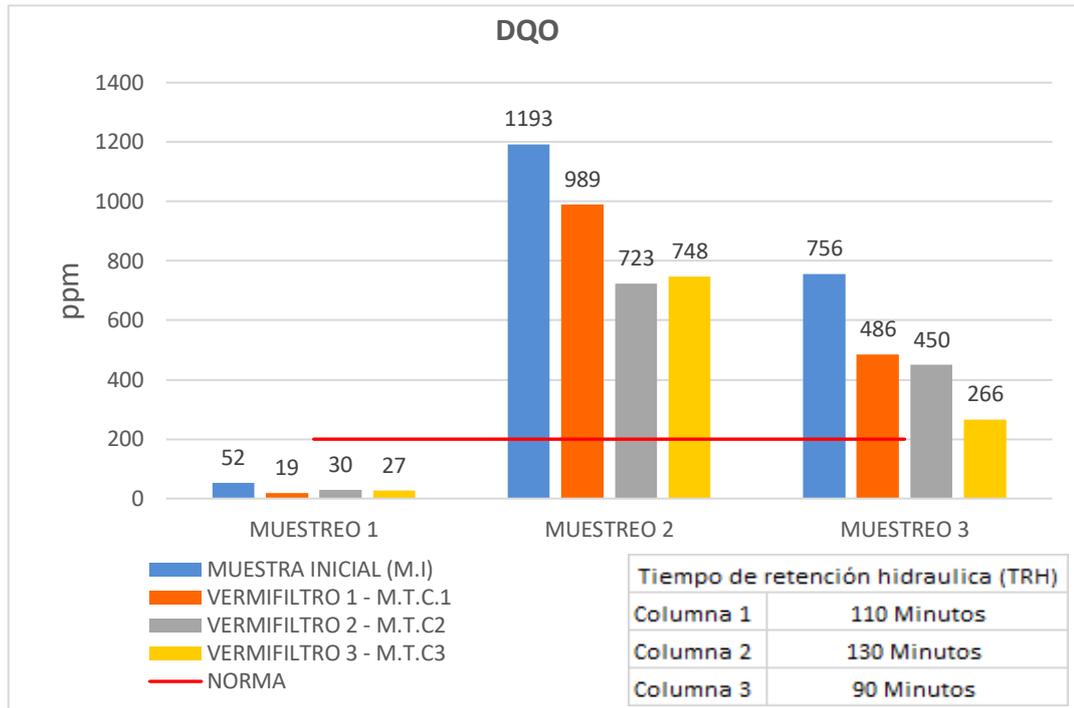


Figura 9: Parámetro de DQO

Se observó en la (figura N°9) que hubo una reducción para en el parámetro de DQO, durante los 3 muestreos que se realizó, se apreció que la concentración inicial del parámetro correspondiente es mayor con respecto a los resultados de los obtenidos en las tres columna de vermifiltración.

En el primer muestreo se observó una entrada inicial (MI) de 52 mg/L y el mejor resultado fue de en la columna del vermifiltro 1 (M.T.C1) con 19 mg/L de DQO, en el segundo muestreo el resultado más menor fue en la columna del vermifiltro 3 (M.T.C3) con 21 mg/L de DQO, sin embargo en este primer muestreo todos los resultados cumplieron con la norma del D.S. N° 003-2010-MINAM–LMP que indica 200 mg/L.

En los muestreos 2 y 3 observó un incremento de concentración del parámetro ya que sobre pasa la línea roja que indica el LMP de la norma, este incremento se debió a la migración de lombrices a otras etapas del vermifiltro y por ello la muerte de estas.

(Rios y Vasni 2018) menciona que la reducción del parámetro de DQO se debe a la actividad biológica donde existe procesos químicos de oxidación por parte de los microorganismo.

Tabla 5
Porcentaje de remoción de DQO

PARAMETRO	M.I (mg/L)	VERMIFILTRO 1	VERMIFILTRO 2	VERMIFILTRO 3
DQO	52	63.5%	42.3%	48.1%
	1193	17.1%	39.4%	37.3%
	756	35.7%	40.5%	64.8%

Fuente: Elaboración propia

Se observó en la (tabla N°5) que el mejor % de remoción fue la columna del vermifiltro 3 (M.T.C3) debido a que los resultados fueron de 64.8%, 37.3% y 48.1%. El segundo mejor resultado fue en la columna del vermifiltro 1 (M.T.C1) debido a que se logró remover hasta un 63.5%, 17.1% y 35.7%. En la columna del vermifiltro 2 (M.T.C2) el resultado fue de 42.3%, 39.4% y 40.5% de remoción.

Ecuación 4

Calculo de porcentaje de remoción del parámetro DQO

$$\% \text{ de remocion} = \frac{(\text{concentracion inicial} - \text{concentracion final})}{(\text{concentracion inicial})} \times 100$$

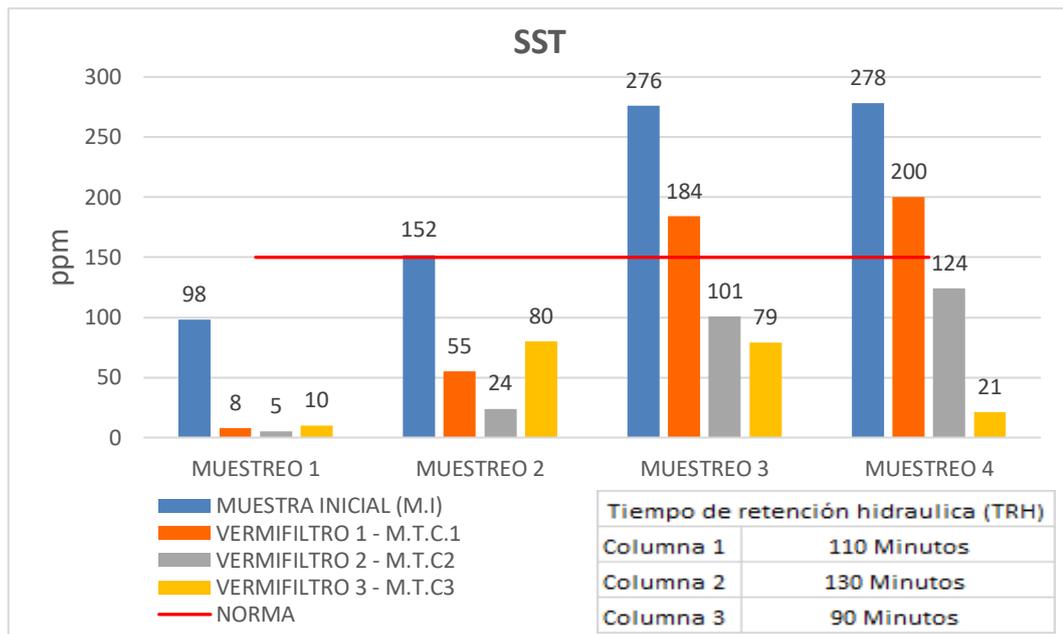


Figura 10: Parametro de Solidos Totales Suspendidos

Se observó en la (figura N°10) que los resultados obtenidos para en el parámetro de SST si fue efectiva durante los 4 muestreos que se realizó, se apreció que la concentración inicial del parámetro correspondiente es mayor a los resultados que se obtuvo en los tres vermifiltros.

En los muestreos 1 y 2 se observó que todos los resultados en las columnas están muy por debajo de la entrada inicial (M.I), sin embargo la columna del vermifiltro 2 (M.T.C2) tiene los mejores resultados de reducción de concentración en SST con 5 mg/L y 24 mg/L como resultados. Sin embargo en el muestreo 3 y 4 se observó un incremento en los resultados de la concentración de STS en las tres columnas de vermifiltración, este se debió a que la separación de cada proceso no fue estable y en el momento del filtrado de agua residual domestica arrestaba la arena a la fase de las piedras, la muerte de las lombrices también se vio afectado para este resultado, (Manyuchi, Mbohwa, y Muzenda 2018) las lombrices proporcionaron un mecanismo de biofiltración que contribuye con la reducción de los SST.

A pesar del aumento de concentración en los resultados de los nuestros 2 y 3 si se cumple la norma que indica el D.S. N° 003-2010-MINAM–LMP un límite de 150 mg/L de SST.

Tabla 6
Porcentaje de remoción de SST

PARAMETRO	M.I (mg/L)	VERMIFILTRO 1	VERMIFILTRO 2	VERMIFILTRO 3
STS	98	91.8%	94.9%	89.8%
	152	63.8%	84.2%	47.4%
	276	33.3%	63.4%	71.4%
	278	28.1%	55.4%	92.4%

Fuente: Elaboración propia

Se observó en la (*tabla N°6*) que el % de remoción de Sólidos Totales Suspendidos más eficaz fue en la columna 2 (M.T.C2) debido a que se obtuvo resultados de 94.9%, 84.2%, 63.4% y 55.4% de remoción. El segundo mejor resultado fue en la columna 1 (M.T.C1) ya que se logró remover hasta un 91.8%, 63.85%, 33.3% y 28.1%. En la columna 3 (M.T.C3) los resultados fueron de 89.8%, 47.4%, 71.4% y 92.4% de remoción.

Ecuación 5

Calculo de porcentaje de remoción del parámetro SST

$$\% \text{ de remocion} = \frac{(\text{concentracion inicial} - \text{concentracion final})}{(\text{concentracion inicial})} \times 100$$

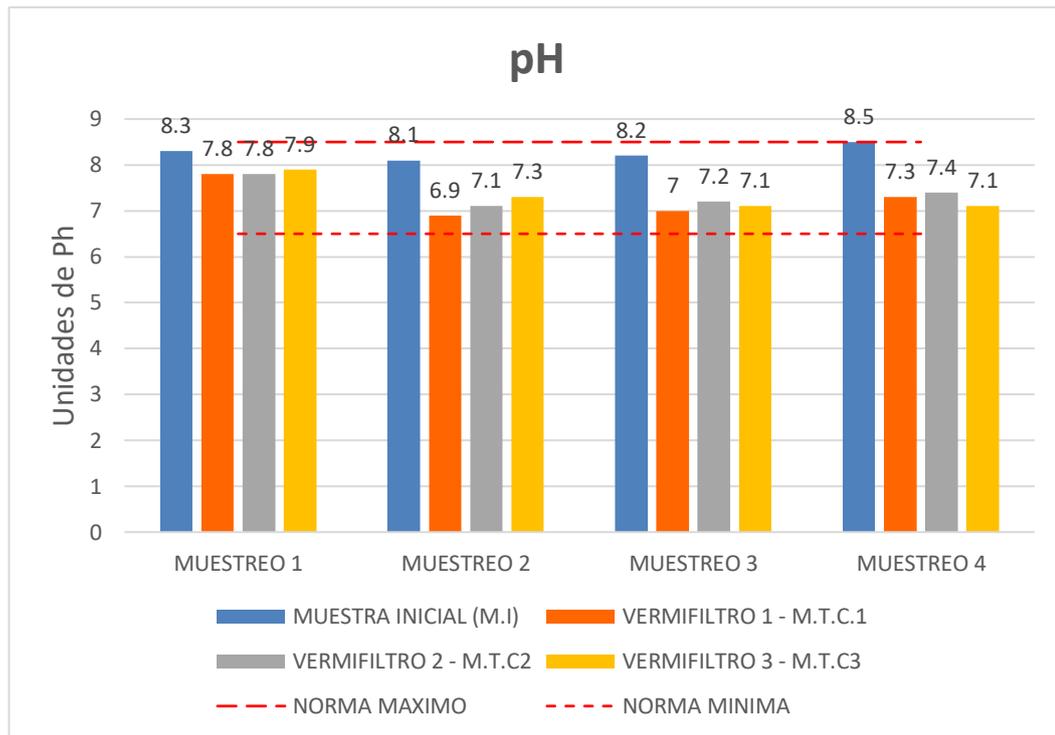


Figura 11: Parámetro pH

Se observó en la (figura N°11) que los resultados obtenidos para en el parámetro de pH se mantuvo dentro del rango establecido por la normativa del D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP que indica que el parámetro de pH debe mantenerse entre 6.5 – 8.5 unidades de pH; durante los 4 muestreos que se realizó, se apreció que la concentración inicial del parámetro pH es mayor referente a los resultados obtenidos de los tres vermifiltros.

En el muestreo 1 los resultados se mantienen en 8.3, 7.8, 7.8, 7.9 unidades de pH, en el segundo muestreo se presentaron los resultados de 8.1, 6.9, 7.1, 7.3 unidades de pH, en el tercer muestreo los resultados fueron de 8.2, 7, 7.2, 7.1 unidades de pH y en el cuarto muestreo se presentaron los resultados de 8.5, 7.3, 7.4, 7.1 unidades de pH.

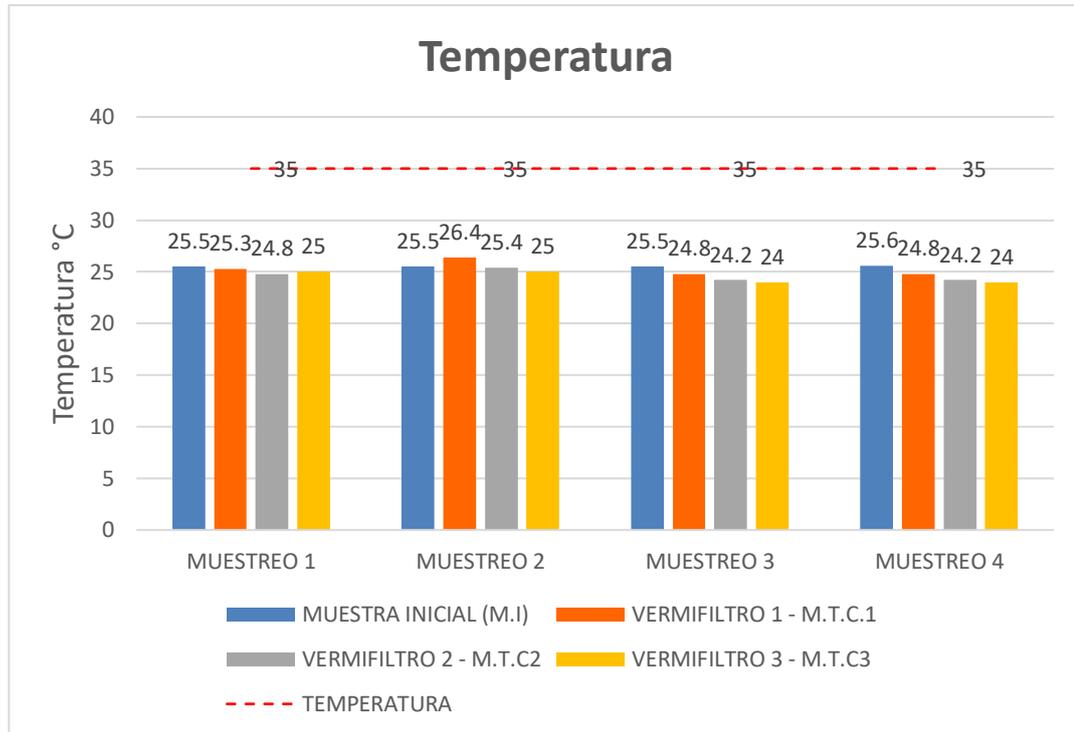


Figura 12: Parámetro de Temperatura

Se observó en la (figura N°12) que los resultados obtenidos para en el parámetro de Temperatura se mantuvo dentro del rango establecido por la normativa del D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP que indica que el parámetro de Temperatura debe ser <35°C. Durante los 5 muestreos que se realizó, se apreció que los grados (°c) de Temperatura inicial del parámetro se encuentran muy por debajo de la norma.

En el muestreo 1 los resultados se mantienen entre 25.5, 25.3, 24.8, 25.1 °C de temperatura, en el segundo muestreo se presentaron los resultados de 26.6, 26.4, 25.4 25.1 °C de temperatura, en el tercer muestreo los resultados fueron de 26.1, 25.9, 25.4, 26 °C de temperatura y en el cuarto muestreo se presentaron los resultados de 25.6, 24.8, 24.2, 24 °C de temperatura.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión de resultados

Discusión respecto al parámetro de Aceites y Grasas:

Este estudio de este proyecto de vermifiltración logró una remoción máxima de hasta 99.4%. El autor (Quille Quille 2018) en su estudio de Lombrifiltro para la Remoción de Residuos Lácteos de la Planta Quesera “La Bodeguilla – Valle de Moquegua” logro remover hasta un 77.6% de aceites y grasas, (Reyes 2016) realizó 2 experimentos; en el Biofiltro experimental 1 se utilizó (aserrín y viruta común de aserradero, grava y lombrices), para el Biofiltro experimental 2 se utilizó como; fibra de coco, grava y lombrices) los resultados para ambos biofiltros fue de 99.4%.

Nuestros resultados de vermifiltración superan los resultados del autor (Quille Quille 2018) e igualan los resultados del autor (Reyes 2016), estos resultados positivos se deben a los materiales empleados en el proceso de vermifiltración (Quille Quille 2018) menciona que las características fisicoquímicas del parámetro aceites y grasas del agua residual son influenciadas por la aplicación de lombrices que ayudan a reducir dicho parámetro.

Discusión respecto al parámetro de Coliformes Termotolerantes:

Este estudio de este proyecto de vermifiltración a través de (compus y lombrices, bagazo de caña, arena fina, piedra chancada) alcanzó una remoción de un 45.8% en la columna 2 durante el primer muestreo siendo este el resultado más eficiente de este presente estudio. El autor (Rios y Vasni 2018) en su estudio sobre la “eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas” obtuvo resultados de remoción en un 84%.

Los resultados de este estudio no logró superar he igualar a los resultados del autor nombrado líneas arriba debido a una migración de las lombrices a otro proceso del vermifiltro y esto causó la muerte en algunas de ellas por ello se atribuye que no se tuvo los microorganismo y lombrices suficientes para lograr una mejor remoción, según (Rios y Vasni 2018) indica que la remoción de este parámetro se atribuye a las acciones de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) que tiene una gran cantidad de flora microbiana en su intestino y es la causante de la degradación de la materia orgánica.

Discusión respecto al parámetro DBO:

Este estudio de este proyecto de vermifiltración a través de (compost y lombrices, bagazo de caña, arena fina, piedra chancada) se obtuvo una remoción de 82.2% en DBO₅. El autor (Kumar et al. 2015) en su estudio de investigación sobre la vermifiltración usó (material de lecho de río, carbón de leña, vidrio y bola de barro en triplicados) logró remover 81% en DBO₅, (Samal, Dash, y Bhunia 2017) en su estudio de vermifiltración asistida de Canna logró remover hasta un 80% y 71% en DBO₅, (Adugna et al. 2019) utilizando (grava, arena fina, aserrín fino y lombriz (*Eudrilus eugeniae*) en la vermifiltración obtuvo resultados de 97% en DBO₅, (Valqui y Gerardo 2019) usando los siguientes materiales (vermicompost, aserrín, grava y lombriz (*Eisenia foetida*)) logró remover un 95% en DBO₅, (Reyes 2016), logró remover hasta un 80% y 88%.

Los resultados en este estudio cumplen con las expectativas del proyecto y este resultado se dio en la columna del vermifiltro 2 que tuvo el mayor TRH que fue de 130 minutos, (Singh et al. 2017) menciona que cuanto más larga sea la TRH mayor será la eficiencia de la vermifiltración y retención de nutrientes además las lombrices

aprovechan más este tiempo para llevar procesos físicos y bioquímicos para la eliminación de sustancias orgánicas y nutrientes, lo que finalmente resulta en la reducción de la DBO, (Lourenço y Nunes 2017) menciona que la abundancia de lombrices contribuye con la reducción de la DBO₅.

Discusión respecto al parámetro de DQO:

Este estudio de este proyecto de vermifiltración a través de (compus y lombrices, bagazo de caña, arena fina, piedra chancada) logró un 64.8% de remoción. El autor (Samal et al. 2017a) logró remover hasta un 75% y 66% en DQO, (Kumar et al. 2015) logró remover 72% en DQO, (Díaz Revilla y Zafra Olano 2018) utilizó como materiales ((aserrín, arena fina para construcción, carbón mineral, de piedra pómez, gravilla fina, piedra de río y lombrices (*Eisenia foetida*)) y su remoción fue de un 90% en DQO, (Mejía y Raúl 2017) sobre "Lombrifiltro para Mejorar la Calidad de las Aguas Residuales" removi6 un 85% de DQO.

Nuestros resultados superan el 50% de remoción del parámetro y cumple con la normativa peruana de LMP además de ello la mayoría de los autores citados se enfocan en dos parámetros (BQO, DBO) mientras que en este proyecto de vermifiltración se enfoca en el estudio de 7 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Aceites y grasas m/L, Coliformes termo tolerantes NMP/ 100 ml, DBO mg/L, DQO mg/L, PH unidades, SST ml/L y Temperatura °C) de la normativa peruana del D.S. N° 003 – 2010 MINAM, se considera también que los resultados pueden mejorar teniendo en cuenta los errores cometidos tales como la migración de lombrices y muertes de ellas (Rios y Vasni 2018) menciona que la reducción del parámetro de DQO se debe a la actividad biológica donde existe procesos químicos de oxidación por parte de los microorganismo.

Discusión de Sólidos Totales Suspendedos:

El resultado obtenido en este proyecto de vermifiltración (compus y lombrices, bagazo de caña, arena fina, piedra chancada) alcanzó una remoción de SST hasta un 94.9%.

El autor (Kumar et al. 2014) en su investigación de vermifiltración removió un 90% de SST, (Cardoso-Vigueros y Garzón-Zúñiga 2014) usando materiales (residuos de comida (hortalizas y fruta), lombrices (*Eisenia foetida*), Vermicompus, piedras de lava volcánica y grava triturada de roca caliza) alcanzó una remoción de 97%, (Ocampos y Cecilia 2018) utilizando un biofiltro con *Eisenia foetida* y un biofiltro convencional logró resultados de 40% y 75% de SST.

Los resultados obtenidos en este proyecto de vermifiltración fueron muy eficientes logrando ser superiores que los resultados de los autores mencionados, se asume que el bagazo de caña contribuye con la eliminación de SST, (Singh et al. 2017) menciona que un vermifiltro hecho de material poroso ayuda en la detección de aguas residuales y la captura de sólidos para que las lombrices las puedan digerir.

Discusión del parámetro de pH:

El pH se mantuvo dentro del Límite Máximo Permitido por la normativa peruana del D.S. N° 003 – 2010 MINAM, según esta norma el pH debe mantenerse entre 6.5 – 8.5 unidades de pH, esto se mantuvo en dentro del límite durante los 5 muestreos realizados en las tres columnas de vermifiltración y jacinto de agua. (Mejía y Raúl 2017) en su estudio de “Lombrifiltro para Mejorar la Calidad de las Aguas Residuales” logro mantener un promedio de 7.61 unidades de pH.

Discusión del parámetro de temperatura:

La temperatura se mantuvo dentro del rango establecido por la normativa del D.S.N° 003-2010-MINAM-LMP que indica que el parámetro de Temperatura debe ser

>35°C. Durante los 5 muestreos y en las tres columnas de vermifiltración se mantienen dentro del rango permitido por la norma debido a que en ningún resultado se logra superar los 35°C de temperatura. (Reyes 2016) en su estudio sobre la "Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales" logro mantener una temperatura de 27 y 26°C.

Conclusiones

Se evaluó durante 100 días el proceso de la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante la vermifiltración y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y se logró reducir los valores del agua residual contaminada de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la normativa peruana LMP para efluentes de PTAR del D.S N° 003-2010-MINAM.

Se analizó los resultados de la remoción de los parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica después del proceso de vermifiltración y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y los mejores resultados en (Aceites y grasas, DBO, DQO, SST, pH, Temperatura) fueron los siguientes: Aceites y grasas ingreso inicial fue 87.3 mg/L y logró reducir a 05 mg/L; DBO₅ ingreso inicial fue 259 mg/L y se logró reducir a 46 mg/L; DQO su ingreso inicial fue de 52 mg/L y se logró reducir a 19 mg/L; SST ingreso inicial fue 98 mg/L y logró reducir a 5 mg/L; pH se obtuvo un mínimo y máximo de 6.9 y 8.5; Temperatura se obtuvo un mínimo y máximo de 24 °C y 26°C.

Se interpretó los resultados de remoción de los parámetros microbiológicos del agua residual doméstica luego de finalizar el proceso de vermifiltración y jacinto (*Eichhornia crassipes*) y los resultados en cuanto al parámetro Coliformes

Termotolerantes fue de un ingreso inicial de 54×10^7 NMP/100 mL a reducción final de 54×10^3 NMP/100 mL; no se obtuvo una mayor reducción del parámetro debido a la muerte de las lombrices (*Eisenia Foetida*) responsables de la degradación de la materia orgánica.

Se comparó los resultados finales remoción de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos con la normativa peruana D.S N° 003-2010-MINAM – para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales y se determinó lo siguiente: Aceites y Grasas el resultado final fue <0.5 mg/L, esto indica que si cumple la normativa peruana de LMP del D.S N° 003-2010-MINAM se establece un LMP máximo de 20 mg/L; Coliformes Termotolerantes resultado final fue de 54 000 NMP/100 mL, esto demuestra que no cumple la normativa peruana de LMP establece hasta 10 000 NMP/100 mL; DBO resultado final fue 46 mg/L, esto demuestra que si cumple la normativa peruana de LMP establece hasta 100 mg/L de DBO, DQO resultado final fue de 19 mg/L, esto indica que si cumple la norma peruana de LMP establece hasta 200 mg/L; SST resultado final fue 0.5 mg/L, esto indica que si cumple la norma de LMP establece 150 mg/L; pH se mantuvo en un rango de 6.9 y 8.5 unidades de pH, la norma establece un rango de 6.5 y 8.5 unidades de pH; esto demuestra que se cumplió con lo establecido por la norma peruana de LMP del D.S N° 003-2010-MINAM; finalmente la Temperatura se mantuvo entre 24 y 25.5 °C y la norma establece para el parámetro de Temperatura >35 °C, esto demuestra que si cumplió lo indicado en la norma.

REFERENCIAS

- Adugna, Amare T., Harinaivo A. Andrianisa, Yacouba Konate, y Amadou H. Maiga. 2019. «Fate of Filter Materials and Microbial Communities during Vermifiltration Process». *Journal of Environmental Management* 242:98-105.
- Adugna, Amare T., Harinaivo A. Andrianisa, Yacouba Konate, Awa Ndiaye, y Amadou H. Maiga. 2015a. «Performance comparison of sand and fine sawdust vermifilters in treating concentrated grey water for urban poor». *Environmental Technology* 36(21):2763-69.
- Adugna, Amare T., Harinaivo A. Andrianisa, Yacouba Konate, Awa Ndiaye, y Amadou H. Maiga. 2015b. «Performance comparison of sand and fine sawdust vermifilters in treating concentrated grey water for urban poor». *Environmental Technology* 36(21):2763-69.
- ANA. 2016. «Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales». *Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA*. Recuperado 13 de junio de 2018 (<http://www.ana.gob.pe/normatividad/decretos-legislativos>).
- Arora, Sudipti, y A. A. Kazmi. 2015. «The Effect of Seasonal Temperature on Pathogen Removal Efficacy of Vermifilter for Wastewater Treatment». *Water Research* 74:88-99.
- Arora, Sudipti, Ankur Rajpal, Tarun Kumar, Renu Bhargava, y A. a. Kazmi. 2014. «Pathogen removal during wastewater treatment by vermifiltration». *Environmental Technology* 35(19):2493-99.
- Baldeón, Lizbeth Quispe, Jimena Betsy Arias Chavez, Cristian Franco Martinez Suarez, y Milda Cruz Huaranga. 2017. «Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros físicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental». *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo* 3(1).
- Cardoso-Vigueros, Lina, y Marco Garzón-Zúñiga. 2014. «EVALUATION OF A PILOT VERMIFILTER FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER». *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 5(2):33-44.
- Díaz Revilla, Luis Elí, y Alexandra Kristel Zafra Olano. 2018. «Implementación de un lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales procedentes del camal municipal de Cajamarca en 2017 (Tesis Parcial)». *Universidad Privada del Norte*.
- Ghasemi, S., M. Mirzaie, A. Hasan-Zadeh, M. Ashrafnejad, S. J. Hashemian, y S. R. Shahnemati. 2020. «Design, Operation, Performance Evaluation and Mathematical Optimization of a Vermifiltration Pilot Plan for Domestic Wastewater Treatment». *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8(1):103587.

- Hernández Sampieri, Roberto & Fernández Collado, Carlos & Baptista Lucio, Pilar. 2010. «Libro Metodología de la Investigación 6ta edición SAMPIERI (PDF)». *Metodologiaecs*. Recuperado 10 de junio de 2018 (<https://metodologiaecs.wordpress.com/2016/01/31/libro-metodologia-de-la-investigacion-6ta-edicion-sampieri-pdf/>).
- INEN. 2019. «Perú Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico». Recuperado 20 de junio de 2020 (<http://m.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/formas-de-acceso-al-agua-y-saneamiento-basico-9343/1/#lista>).
- Kumar, Tarun, Renu Bhargava, K. S. Hari Prasad, y Vikas Pruthi. 2015. «Evaluation of Vermifiltration Process Using Natural Ingredients for Effective Wastewater Treatment». *Ecological Engineering* 75:370-77.
- Kumar, Tarun, Ankur Rajpal, Renu Bhargava, y K. S. Hari Prasad. 2014. «Performance Evaluation of Vermifilter at Different Hydraulic Loading Rate Using River Bed Material». *Ecological Engineering* 62:77-82.
- Li, Xiaowei, Meiyang Xing, Jian Yang, y Yongsun Lu. 2013. «Properties of Biofilm in a Vermifiltration System for Domestic Wastewater Sludge Stabilization». *Chemical Engineering Journal* 223:932-43.
- Liu, Jing, Zhibo Lu, Jian Yang, Meiyang Xing, Fen Yu, y Meiting Guo. 2012. «Effect of Earthworms on the Performance and Microbial Communities of Excess Sludge Treatment Process in Vermifilter». *Bioresour. Technol.* 117:214-21.
- Lourenço, N., y L. M. Nunes. 2017. «Optimization of a Vermifiltration Process for Treating Urban Wastewater». *Ecological Engineering* 100:138-46.
- Manyuchi, M. M., C. Mbohwa, y E. Muzenda. 2018. «Biological Treatment of Distillery Wastewater by Application of the Vermifiltration Technology». *South African Journal of Chemical Engineering* 25:74-78.
- Mejía, Maza, y Jhonatan Raúl. 2017. «“Lombrifiltro Para Mejorar La Calidad De Las Aguas Residuales”». *Universidad Cesar Vallejo*.
- Ocampos, Loro, y Ana Cecilia. 2018. «Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con Eisenia foetida y un biofiltro convencional». *Universidad Científica del Sur*.
- Pire, Reinaldo, y Aracelys Pereira. 2003. «Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. propuesta metodológica». *Bioagro* 15(1):55-64.
- Quille Quille, Lenin. 2018. «Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera “La Bodeguilla – Valle de Moquegua”». *Universidad Nacional del Altiplano*.

- Reyes, Jimmy Vicente. 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.
- Rios, Saboya, y Xiomi Vasni. 2018. «Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas». *Universidad Peruana Unión*.
- Samal, Kundan, Rajesh Roshan Dash, y Puspendu Bhunia. 2017a. «Performance Assessment of a Canna Indica Assisted Vermifilter for Synthetic Dairy Wastewater Treatment». *Process Safety and Environmental Protection* 111:363-74.
- Samal, Kundan, Rajesh Roshan Dash, y Puspendu Bhunia. 2017b. «Treatment of Wastewater by Vermifiltration Integrated with Macrophyte Filter: A Review». *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5(3):2274-89.
- Singh, Rajneesh, Puspendu Bhunia, y Rajesh R. Dash. 2017. «A Mechanistic Review on Vermifiltration of Wastewater: Design, Operation and Performance». *Journal of Environmental Management* 197:656-72.
- Singh, Rajneesh, Puspendu Bhunia, y Rajesh R. Dash. 2018. «COD Removal Index — A Mechanistic Tool for Predicting Organics Removal Performance of Vermifilters». *Science of The Total Environment* 643:1652-59.
- Singh, Rajneesh, Kundan Samal, Rajesh Roshan Dash, y Puspendu Bhunia. 2019. «Vermifiltration as a Sustainable Natural Treatment Technology for the Treatment and Reuse of Wastewater: A Review». *Journal of Environmental Management* 247:140-51.
- UNESCO, Cita. 2018. «Informe Mundial de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua; 2018». 168.
- UNICEF. s. f. «Diseño y Métodos Cuasiexperimentales». *UNICEF-IRC*. Recuperado 20 de junio de 2020 (<https://www.unicef-irc.org/publications/817-diseño-y-métodos-cuasiexperimentales.html>).
- Valqui, Gallegos, y Diego Gerardo. 2019. «Evaluación del Lombrifiltro como Tratamiento Primario del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Proyecto Manchay Verde». *Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur*.
- Wang, Longmian, Feihong Guo, Zheng Zheng, Xingzhang Luo, y Jibiao Zhang. 2011. «Enhancement of Rural Domestic Sewage Treatment Performance, and Assessment of Microbial Community Diversity and Structure Using Tower Vermifiltration». *Bioresource Technology* 102(20):9462-70.

ANEXOS

Anexo 1: Registro de datos de campo

Nombre de la PTAR: <i>Planta de agua residual doméstica - Puente Piedra</i>				
AFLUENTE				
Denominación del punto de monitoreo: <i>Cruce A. Uchirella - Paredón</i>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal afluente (*)
<i>07/03/2018</i>	<i>08:00 am</i>	<i>8.39 und. pH</i>	<i>25 °C</i>	<i>12.5 l/s</i>
Eventuales observaciones al punto de monitoreo <i>Costado de la preparación Norte, casas cercas, cisternas al punto</i>				
Características del agua residual <i>agua de uso doméstico</i>				
EFUENTE				
Denominación del punto de monitoreo: <i>Paredón Norte P.V. Pica</i>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal efluente (*)
<i>07/03/2018</i>	<i>12:30 pm</i>	<i>7.8 und. pH</i>	<i>25.3 °C</i>	—
Eventuales observaciones al punto de monitoreo <i>Calle se de juno - Norte A la Casa.</i>				
Características del agua residual <i>agua tratada por vermifiltración.</i>				

(*) Caudal de afluente y efluente en el momento del monitoreo

..... U.P. de Norte del 2018
Ronal Castillo
 Nombres y apellidos
 Responsable de Monitoreo

Nota: Los laboratorios acreditados ante INDECOP pueden utilizar su propio formato para el registro de datos de campo.

Anexo 3: Requisitos para la toma y preservación de muestras

Determinación/Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra (1)	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
Físicoquímico				
Temperatura	P,V	1000 mL	No es posible	15 min
pH (2)		50 mL	No es posible	15 min
DBO ₅ (3)	P,V	1000 mL	Refrigerar a 4°C	48 horas
DQO (3)	P,V	100 mL	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar a 4°C	28 días
Aceites y grasas	V, ámbar boca ancha calibrado	1000 mL	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar a 4°C	28 días
Sólidos suspendidos Totales (SST)	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	7 días
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP)	V, esterilizado	250 mL	Refrigerar a 4°C Agregar tiosulfato en plantas con cloración	6 horas

(1) No hay restricción para el volumen máximo de la muestra.

(2) En el caso de lagunas de estabilización, la medición del efluente debe realizarse entre las 10:00 y las 11:00 horas para evitar la interferencia del desequilibrio del sistema carbonatado por alta actividad fotosintética que se da en las horas de mayor radiación solar.

(3) En caso de lagunas de estabilización, filtrar las muestras de los efluentes (filtro no mayor a 1 micra de porosidad, lo cual debe ser reportado con los resultados del ensayo) para eliminar la interferencia de algas, determinando de este modo la DBO y DQO, soluble o filtrada. No se debe filtrar las muestras si los efluentes son vertidos en cuerpos de agua lenticos (lagunas, lagos, bahías, etc.).

Leyenda: P = frasco de plástico o equivalente;
V = frasco de vidrio

Anexo 4: Etiqueta de muestreo

Etiqueta de Muestreo de Agua				
solicitante/cliente				
nombre del laboratorio				
código del punto de monitoréo				
tipo de cuerpo de agua				
fecha de muestreo		hora		
muestreado por				
parametro requerido				
preservada	SI	NO	tipo reactivo	

Etiqueta de Muestreo de Agua				
solicitante/cliente				
nombre del laboratorio				
código del punto de monitoréo				
tipo de cuerpo de agua				
fecha de muestreo		hora		
muestreado por				
parametro requerido				
preservada	SI	NO	tipo reactivo	

Anexo 5: Resultados del laboratorio multifuncional UPN

Resultados analizados en la Universidad Privada del Norte

Parámetros	Resultados del análisis				FECHA	
	1	2	3	4		
DBO	259	107	46	79	07/03/2018	1
DBO	202	91	90	101	20/03/2018	2
STS	98	8	5	10	07/03/2018	1
STS	152	55	24	80	20/03/2018	2

medición del parámetro BDO



medición del parámetro de SST



Margarita Cateriano Calderón
Margarita Cateriano Calderón
 Coordinadora de Ingeniería Ambiental
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.

Anexo 6: Solicitud de acceso a la PTAR

Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional



Lima, 05 de marzo del 2018

Solicitud N° 01

Ing. Rolindo Aylas Cancho
GERENTE DE GESTIÓN AMBIENTAL
Municipalidad de Puente Piedra
Presente. -

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted para saludarle y agradecerle por la buena gestión que viene desempeñando con el fin de contribuir con el medio ambiente a través de las áreas verdes.

El motivo de la presente es para solicitar permiso para ingresar a la **planta de tratamiento de agua residual doméstica** que se encuentra ubicada en el cruce de ventanilla en el distrito de puente piedra, por ello, pido a usted me brinde las facilidades del caso.

Lo solicitado tiene como objetivo realizar un monitoreo y obtener muestras de agua residual doméstica de la PTAR para la investigación de mi tesis que tiene como tema "tratamiento de aguas residuales domésticas por vermifiltración integrado con jacinto de agua"

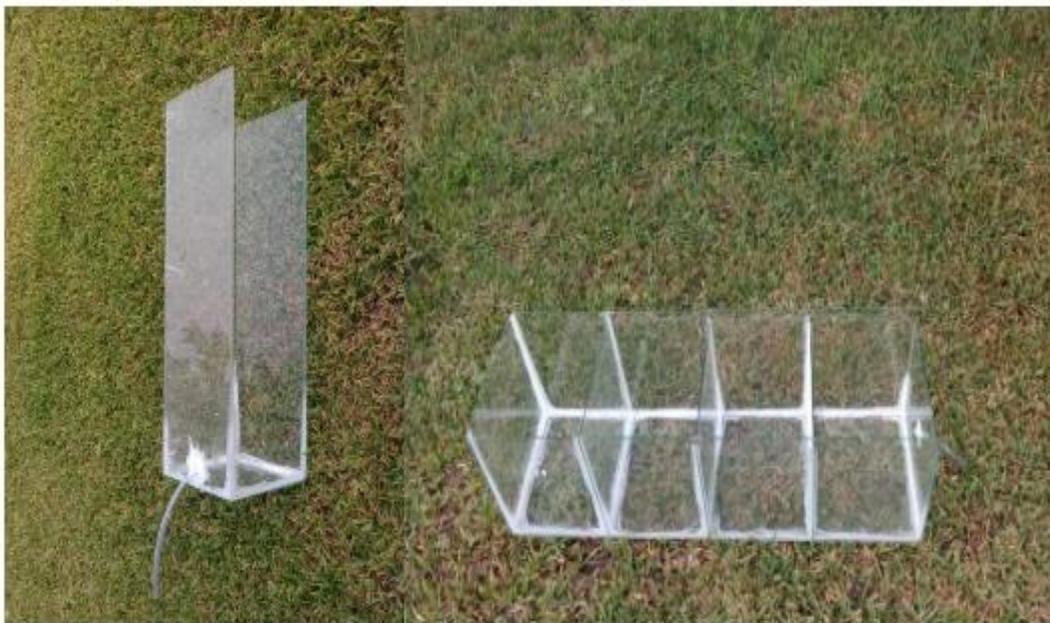
En tal sentido envié mis datos de estudiante como responsable de dicho estudio:

Apellidos y nombres	Código de UPN	DNI
Castillo rivera ronal	381490	46890714

El ingreso a la PTAR se realizará las siguientes fechas 5, 6, 20 de marzo, 4 y 20 de abril, 7 y 23 de mayo.

Conocedor de su generosidad y preocupación por investigaciones en ambiental, le agradezco la acogida a la presente solicitud y le reitero mis saludos.

Anexo 7: Armado de columnas de vermifiltración



Anexo 8: Obtención del bagazo de caña



Anexo 9: Obtención de lombrices



Anexo 10: Obtención del Jacinto de agua



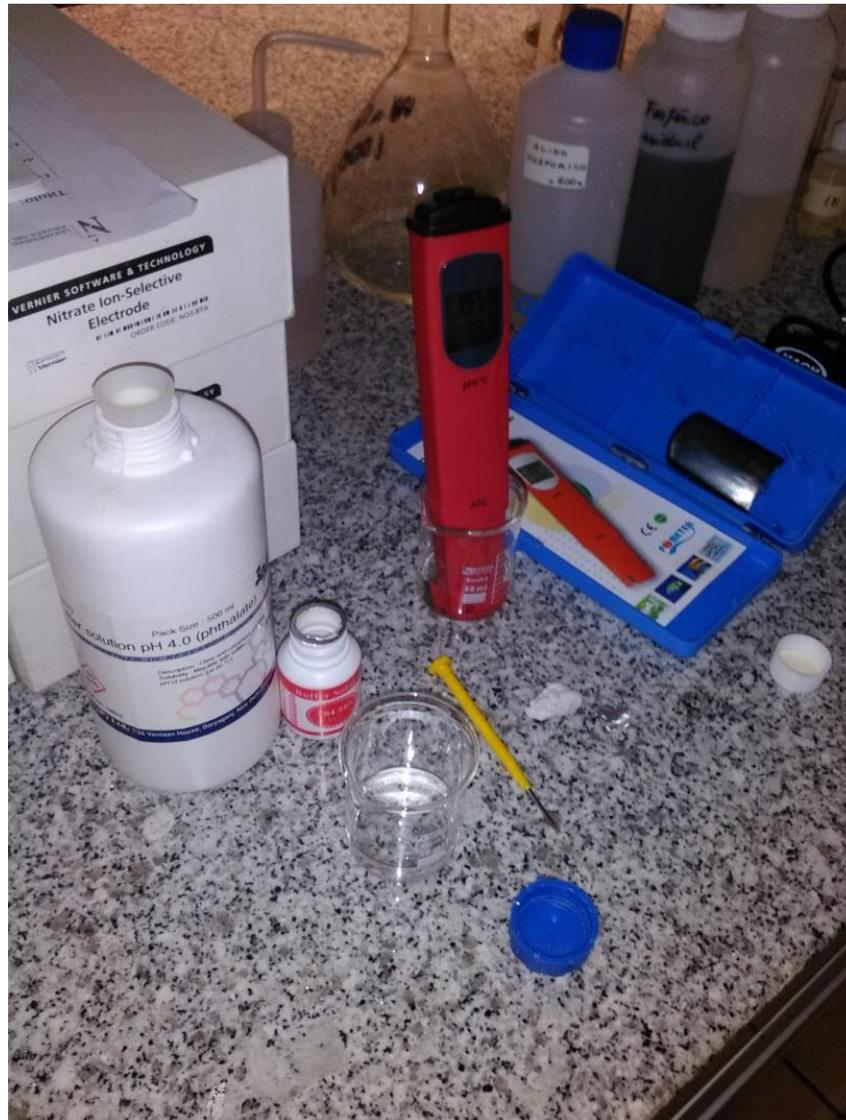
Anexo 11: Acondicionamiento de las columnas de vermifiltración



Anexo 12: Operación de las columnas de vermifiltración



Anexo 13: Calibración del multiparámetro



Anexo 14: Toma de muestra inicial en la PTAR



Anexo 15: Traslado de los 25 Lt. de agua residual doméstica



Anexo 16: Medición con el multiparámetro en la columna de vermifiltración



Anexo 17: Medición del parámetro SST en el laboratorio multifuncional UPN



Anexo 18: Medición del parámetro de DBO en el laboratorio multifuncional UPN

